

5112
Б53

А. А. БЕСЧИНСКИЙ
Ю. М. КОГАН

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

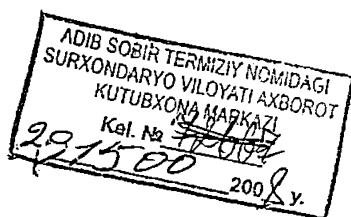
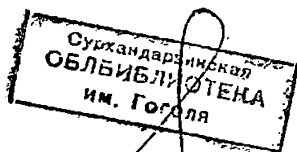
31.28

Б 53

А. А. БЕСЧИНСКИЙ,
Ю. М. КОГАН

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

205162



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1976

В книге рассматриваются основные проблемы развития электрификации СССР. Показано место электрификации в топливно-энергетическом комплексе и ее роль в экономическом развитии СССР. Рассматриваются основные методы прогнозирования перспективного потребления электроэнергии, обобщен опыт развития электрификации, показаны новые направления использования электроэнергии. Большое внимание уделено вопросам экономической эффективности электрификации.

Книга рассчитана на научных работников и инженеров, экономистов и энергетиков, работающих в области прогнозирования, проектирования и планирования энергетики и электрификации, а также на широкий круг читателей, интересующихся проблемами развития электроэнергетики СССР.

АНАТОЛИЙ АРКАДЬЕВИЧ БЕСЧИНСКИЙ
ЮРИЙ МАТВЕЕВИЧ КОГАН

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Редактор *А. С. Некрасов*

Редактор издательства *О. А. Прудовская*

Переплет художника *А. А. Иванова*

Художественный редактор *Н. П. Стрельцов*

Технический редактор *Г. Г. Самсонова*

Корректор *И. А. Володьева*

Сдано в набор 22/VI 1976 г. Подписано к печати 3/XII 1976 г.
Т-20368 Формат 84×108¹/₃₂ . . . Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 22,26 Уч.-изд. л. 24,69 Тираж 6400 экз.
Зак. 719 Цена 1 р. 79 к.

Издательство «Энергия»,
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Б 30301-576
051(01)-76 196-76

© Издательство «Энергия», 1976 г.

ВВЕДЕНИЕ

Весь ход социально-экономического развития человечества в XX веке подтверждает правильность марксистско-ленинского взгляда на электрификацию как важнейшую материальную основу глубоких преобразований общественного производства, условий труда и жизни людей.

С начала промышленного применения электроэнергии ее производство и потребление возрастало исключительно быстрыми темпами. Только за последние 25 лет мировое ежегодное производство электроэнергии увеличилось почти в 6 раз и в настоящее время приблизилось к 7 триллионам кВт·ч. Особенно быстро росло производство электроэнергии в СССР: в 1950 г. оно составляло около 90 млрд. кВт·ч, а в 1975 г. пре-
взошло 1000 млрд. кВт·ч.

В настоящее время нельзя назвать ни одной отрасли общественного производства, ни одного мелкого или крупного хозяйственного объекта, где не использовалась бы электрическая энергия. Растет многообразие процессов, которые основаны на применении электроэнергии. Помимо ставших уже традиционными освещения и силовых процессов электроэнергия широко используется непосредственно для технологических нужд — нагрева, плавки, электролиза и т. д. Появилось много специальных технологий, обработка материалов в которых основана на применении особых форм электромагнитной энергии (ультразвуковая, высокочастотная обработка, магнитное формование и т. д.). Электроэнергия используется для кондиционирования воздуха. Электрификации принадлежит сегодня особое место в системе общественного производства материальных благ и услуг. Производство и потребление электроэнергии на душу населения и электровооруженность труда рассматриваются ныне как важнейшие синтетические показатели, характеризующие технический уровень народного хозяй-

ства страны и степень развития ее производительных сил.

Место электрификации в современном общественном производстве определяется громадной экономической и социальной эффективностью применения электроэнергии. Повышение уровня электрификации обеспечило только с 1950 по 1970 г., по оценке авторов, экономии приведенных затрат в производстве материальных благ и услуг в размере около 13 млрд. руб. в год. Преобразующая роль электрификации возрастает в предстоящий период развития СССР. XXIV и XXV съезды КПСС приняли широкую программу экономических и социальных преобразований в нашей стране. Их основой являются высокие темпы развития социалистического производства, повышение его эффективности, ускорение научно-технического прогресса и роста производительности труда. Решение всех этих задач находится в непосредственной связи с достижениями научно-технической революции, которая оказывает все большее влияние на общественное производство.

Осуществление крупных сдвигов в общественном производстве приводит к росту требований к количеству и качеству используемых в народном хозяйстве видов энергии. Это создает объективные условия широкого применения электроэнергии, преимущества которой раскрываются в настоящее время наиболее полным образом во всех звеньях материального производства и сферы обслуживания.

Электрификация в процессе развития общественного производства выступает как революционизирующее, преобразующее начало. Расширение областей применения электроэнергии в СССР, возрастание ее роли в решении проблем социально-экономического развития страны делает важной задачей дальнейшую разработку теоретических основ и методов определения рациональных уровней электрификации и объемов потребления электроэнергии.

В настоящее время и ближайшей перспективе электроэнергия остается одним из самых дорогих видов энергии. В то же время она, располагая особым комплексом ценных свойств, выступает как наиболее универсальный и всеобщий вид энергии, отвечающий любой технологической структуре производства. Практическое использование этих преимуществ электроэнергии в зна-

чительной мере определяется тем, в какой степени эффект от ее использования перекрывает дополнительные затраты, связанные с производством электричества.

Обе составляющие экономической оценки электрификации: затраты на получение электроэнергии и эффект от ее применения по сравнению с затратами на получение и результатами применения других видов энергии — зависят от большого числа различных технических, экономических, социальных и природных факторов (рис. В-1). Поэтому каждому этапу развития общественного производства соответствует свой рациональный уровень электрификации народного хозяйства, зависящий от характера и силы взаимодействия указанных факторов.

Определение рационального уровня электрификации предполагает решение комплекса теоретических и практических проблем: разработку общих теоретических вопросов электрификации страны; исследование основных факторов, определяющих экономические показатели электрификации процессов и отраслей народного хозяйства; оценку социальных преимуществ использования электроэнергии в различных процессах и отраслях народного хозяйства; разработку конкретных методов прогнозирования и планирования уровней электрификации и потребности в электроэнергии.

Советская энергетическая и экономическая наука достигла значительных успехов в разработке проблем электрификации. Ленинские положения о роли и значении электрификации послужили теоретической базой первого государственного плана развития народного хозяйства России — плана ГОЭЛРО, утвержденного VIII Всероссийским съездом Советов в декабре 1920 г. В плане ГОЭЛРО задачи электрификации рассматриваются с широких позиций, охватывающих в едином комплексе политические и хозяйственные цели и необходимые для их достижения изменения в развитии и размещении производительных сил страны и совершенствовании технических средств. В плане ГОЭЛРО была теоретически обоснована тесная связь между электрификацией и ростом производительности труда, между развитием энергетики и структурой материального производства.

Энергетическое хозяйство в плане ГОЭЛРО рассматривалось как сложное единство, в котором разви-

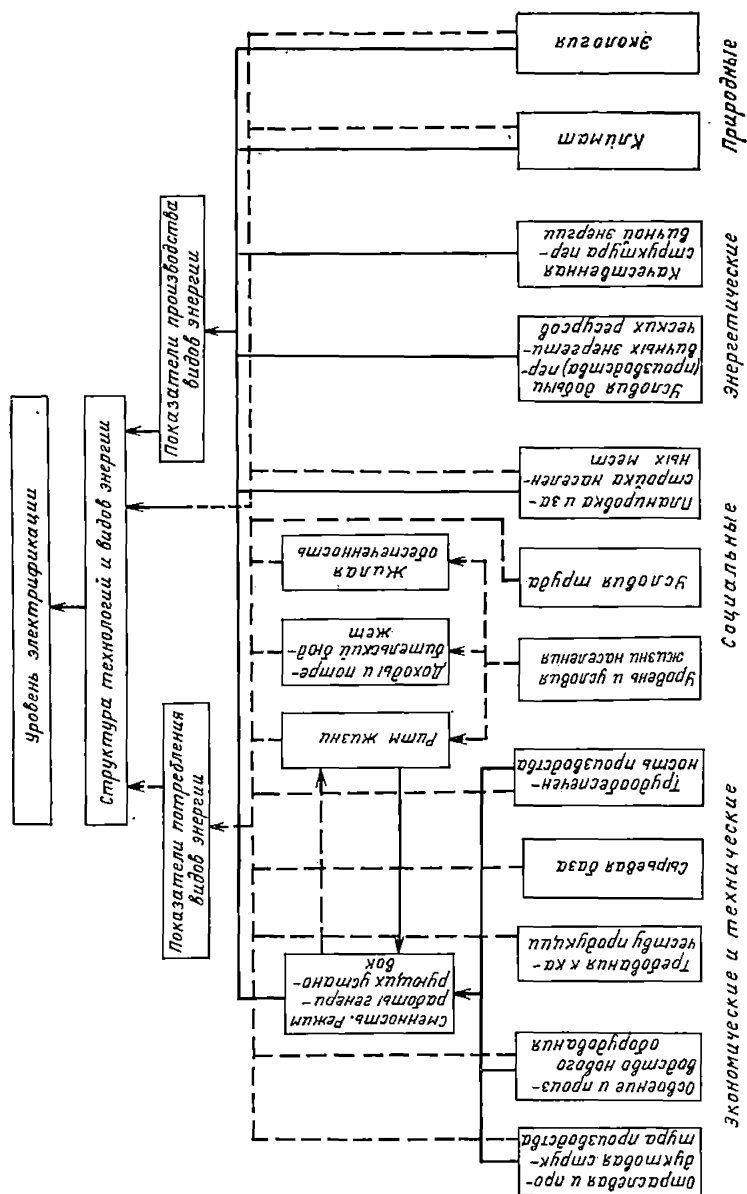


Рис. В-1. Факторы, определяющие уровень электрификации (упрощенная схема).

--- факторы, определяющие показатели производства энергоносителей; --- то же для потребления энергоносителей.

тие электроэнергетики намечалось во взаимосвязи и взаимодействии со всеми другими элементами народного хозяйства. Основные количественные показатели плана основывались на балансовых расчетах. Некоторые из них, например масштабы потребления электроэнергии, гидростроительства, обосновывались во многих случаях конкретными экономическими расчетами, сопоставлением различных вариантов, применением таких экономических категорий, как срок окупаемости, распределение затрат между элементами водохозяйственных комплексов, потребительский эффект и т. д.

Крупнейшие деятели советской науки — непосредственные участники плана ГОЭЛРО Г. М. Кржижановский, К. А. Круг, И. Г. Александров и другие — продолжили разработку научных основ электрификации. Особенно большая заслуга в этом принадлежит академику Г. М. Кржижановскому, создавшему в этой области широко известную школу советских ученых. В работах Г. М. Кржижановского и ученых его школы раскрыты теоретические основы развития электрификации и энергетики в нашей стране, рассмотрены проблемы расширения технологического использования электроэнергии в различных отраслях народного хозяйства и его влияние на рост общественного производства и повышение производительности труда, заложены основы подхода к определению потребности в электроэнергии на базе исследования технологической структуры производства.

Научная концепция единого энергетического комплекса в нашей стране основана на системном подходе, при котором масштабы, структура и режимы энергетического хозяйства изучаются во всем многообразии внутренних и внешних связей энергетики. Исследования советских энергетиков, развивающие научные идеи плана ГОЭЛРО, позволили нашей энергетической науке завоевать передовые позиции в вопросах изучения электрификации как важного элемента топливно-энергетического комплекса и одного из ведущих факторов экономического роста.

Вместе с тем быстрый рост производительных сил и задачи социально-экономического развития СССР, осуществляемые в условиях научно-технической революции и крупных структурных и технологических сдвигов

в производстве материальных благ и услуг, выдвигают новые проблемы в области электрификации.

Особое значение в этом плане имеет взаимосвязь электрификации со всей разработанной XXIV и XXV съездами КПСС экономической стратегией партии и государства на современном этапе, выявление ее роли в дальнейшем наращивании экономической мощи страны, расширении и коренном обновлении производственных фондов, обеспечении динамичного и пропорционального развития общественного производства и повышения его эффективности, ускорении технического прогресса, обеспечении роста производительности труда и повышения качества продукции. Необходимо рассмотреть, в частности, вопросы, связанные с усилением взаимодействия между отдельными элементами развития общественного производства и факторами, определяющими его эффективность и уровень электрификации страны.

В предлагаемой книге в первую очередь рассматриваются вопросы методологии прогнозирования уровней электрификации страны. Сюда относятся вопросы, связанные с ролью электрификации в формировании прогрессивной технологической структуры общественного производства, анализ факторов, воздействующих на структуру технологий с точки зрения масштабов и путей развития электрификации. Особое внимание авторы старались уделить изучению и экономической оценке новых факторов, воздействующих на выбор видов энергии и перспективы развития электрификации; в их числе: ускорение технического прогресса, существенные сдвиги в технологической структуре производства; появление новых методов и форм технологического использования электроэнергии, расширение областей применения и увеличение возможностей замены ею других видов энергии; намечаемые прогрессивные изменения в технике производства и транспорта электроэнергии и связанное с этим повышение эффективности электроэнергетики; влияние требований защиты окружающей среды на выбор решений в энергетике и развитие электрификации; стремление к созданию энергосберегающих технологий в связи с относительной ограниченностью качественных видов топлива.

Все эти вопросы авторы старались осветить с позиций системного подхода, при котором электрификация

и электроэнергетика исследуются в совокупности всех внешних и внутренних связей, присущих энергетическому хозяйству как единому целому. При этом в книге особо рассматривается наименее изученная взаимосвязь между уровнем электрификации и технологической структурой общественного производства.

Использование энергии — это то звено энергетического хозяйства где, в конечном виде проявляется эффект электрификации. На масштаб этого эффекта воздействуют многие факторы. Поэтому его определение особенно важно в связи с высокой капиталоемкостью энергетики и ее комплексным характером.

Авторы полагают, что правильная и всесторонняя оценка экономической эффективности электрификации, научное обоснование уровней электрификации имеют существенное значение для работ по долгосрочному планированию и прогнозированию народного хозяйства страны.

Авторы выражают признательность коллективу института Энергосетьпроект, в творческой и товарищеской атмосфере, которого они занимались разработками проблем экономики энергетики и электрификации.

Авторы приносят искреннюю благодарность доктору экономических наук М. А. Виленскому за ценные указания и замечания, сделанные при просмотре рукописи, а также доктору экономических наук А. С. Некрасову, выполнившему большую работу по редактированию рукописи.

Авторы отдают себе отчет в сложности всего комплекса проблем, связанного с развитием электрификации на современном этапе. Настоящим исследованием данная тема, разумеется, не могла быть исчерпана. Уровень изученности отдельных вопросов далеко не одинаков, ряд из них мог быть затронут только в постановочном плане. Авторы с благодарностью примут все замечания и предложения.

Главы 1, 3 и 6, глава 5 (§ 1) написаны А. А. Бесчинским, гл. 7—11 и гл. 5 (§ 2) — Ю. М. Коганом, введение, гл. 2, 4 написаны авторами совместно.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭНЕРГЕТИКА И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

1-1. ПРОПОРЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОНОМИКИ СССР

Среди производственных комплексов, образующих экономическую структуру страны, топливно-энергетический комплекс занимает особое место. Л. И. Брежнев сказал: «В целях повышения эффективности промышленного производства и улучшения структуры мы берем курс на совершенствование целых комплексов взаимосвязанных отраслей, развивающихся по определенной программе.

Одной из узловых задач пятилетки является опережающее и более эффективное развитие топливно-энергетического комплекса» [Л. 1].

Энергетика или топливно-энергетический комплекс представляет собой сложное единство процессов и материальных устройств по добыче, транспорту, преобразованию и потреблению первичных энергоресурсов и конечных энергоносителей.

В таком понимании энергетика выступает как большая система с весьма интенсивными внешними и внутренними связями. Эта система входит в состав еще более крупной системы — народного хозяйства в целом. В свою очередь энергетика состоит из ряда взаимосвязанных подсистем, производящих взаимозаменяемые продукты (уголь, нефть, газ, электроэнергию и др.). Через гидроэнергетическое крыло энергетика связана с единым водным хозяйством страны.

Системный подход к планированию, проектированию и управлению развитием энергетики, необходимость которого обусловлена ее особенностями и технико-экономической структурой, был заложен в ленинской концепции электрификации страны.

Положения системного подхода, разработанные уже в плане ГОЭЛРО, нашли свое дальнейшее развитие в плановой практике советского государства. Происходившая перестройка топливного баланса — сначала за счет вытеснения древесного топлива угольным, а затем на основе быстрого развития нефтяной и газовой промышленности — резко расширили границы взаимозаменяемости различных видов топлива. Усилились процессы концентрации и централизации энергопроизводства, в особенности в электроэнергетике. Возникла мощная специализированная инфраструктура энергетического транспорта. Так, например, к 1974 г. по сравнению с 1950 г. протяженность нефтепроводов возросла в 10 раз, газопроводов — в 40 раз, электрических сетей (напряжением 35 кВ и выше) — в 18 раз. Все это сопровождалось ростом и усложнением взаимосвязей в энергетическом хозяйстве и его дальнейшим воздействием на процессы обобществления труда в народном хозяйстве в целом.

Раскрывая значение физико-технических свойств электроэнергии для прогресса техники и роста производительности труда, В. И. Ленин в то же время подчеркивал роль высокоцентрализованного и концентрированного производства электроэнергии для создания крупного промышленного производства, для борьбы с «сухарежкой», с мелкотоварной стихией, рождающей капитализм, для создания социалистических производственных отношений¹. Концентрация производства, различные формы его комбинирования, рост промышленной специализации и территориального разделения труда в настоящее время расширяются и углубляются на неизмеримо более высокой энергетической основе.

СССР располагает в настоящее время развитой энергетической базой и мощной энергопромышленностью, обеспечивающими высокую динамичность энергетического хозяйства, способного в соответствии с требованиями экономики к дальнейшим высоким темпам развития на самой передовой технической основе.

Как видно из табл. 1-1, СССР по уровню развития энергетики стоит на втором месте в мире, опережая Великобританию, Францию и ФРГ вместе взятые.

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 42, с. 158—159.

Таблица 1-1
Энергетические показатели СССР, некоторых капиталистических стран и мира в 1974 г.*

Показатели	СССР	США	Великобритания	Франция	ФРГ	Япония	Мир
Производство электроэнергии (валовое), млрд. кВт·ч	976,0	2060,0	274,0	188,0	305,0	462,0	6300
Производство электроэнергии (отпуск с шин), млрд. кВт·ч	910,0	1950,0	254,0	180,0	292,0	446,0	...
Потребление электроэнергии в промышленности (с учетом расхода на собственные нужды электростанций), млрд. кВт·ч	621,0	820,0	118,0	113,0	172,0	272,0	...
Производство коммерческих энергоресурсов, млн. т. условного топлива 1973 г.)	1410,5	2152,5	174,5	48,6	172,0	38,5	8485
В том числе:							
уголь**	499,6	524,5	131,5	27,8	133,2	22,4	2440
нефть	613,5	763,3	0,5	3,1	9,8	1,2	4217
природный газ	282,4	819,6	38,4	10,0	25,7	3,9	1639
гидро- и атомная энергия	15,0	45,1	4,1	7,7	3,4	11,0	189
Потребление коммерческих энергоресурсов, млн. т условного топлива (1973 г.)	1307,3	2503,2	313,2	234,3	371,0	426,0	7885
В том числе:							
уголь		508,2	130,4	44,3	121,8	80,7	2484
нефть		1109,1	139,1	161,0	198,7	326,6	3593
природный газ		839,0	39,6	21,8	46,1	7,8	1618
гидро-и атомная энергия		46,9	4,1	7,3	4,7	11,0	189

Показатели	СССР	США	Великобритания	Франция	ФРГ	Япония	Мир
Удельные показатели (на душу населения)							
Производство электроэнергии (валовое), кВт·ч/чел	3871	9722	4885	3581	5051	4290	1640
Производство коммерческих энергоресурсов, т условного топлива/чел (1973 г.)	5,62	10,2	3,1	0,93	2,87	0,35	2,15
В том числе:							
уголь	1,98	2,48	2,34	0,53	2,22	0,2	0,63
нефть	2,45	3,62	0,01	0,06	0,17	0,01	1,10
природный газ	1,13	3,88	0,68	0,19	0,43	0,04	0,43
гидро- и атомная энергия	0,06	0,21	0,07	0,15	0,05	0,1	0,05
Потребление коммерческих энергоресурсов, т условного топлива/чел (1973 г.)	4,97	11,8	5,57	4,56	6,2	3,9	2,06
В том числе:							
уголь		2,40	2,32	0,86	2,04	0,73	0,64
нефть		5,22	2,48	3,14	3,32	3,0	0,93
природный газ		3,96	0,70	0,42	0,77	0,07	0,42
гидро- и атомная энергия		0,22	0,07	0,14	0,07	0,1	0,05

* Данные по СССР взяты из статистического ежегодника "Народное хозяйство СССР в 1974 г.", М., "Статистика", 1974, 852 с.; по всем другим странам — "World Energy Supplies", 1970—1973, № 18, New York, ООН, 1973, 187 р. и "Statistical Year-Book", 1974, New York, ООН, 1975, 829 р. По СССР данные без атомной энергии.

** Включая по методике ООН лигниты, сланцы и торф.

Вместе с тем по ряду направлений (развитию энергетических систем, электрических сетей сверхвысоких напряжений, концентрации мощности на тепловых и гидроэлектростанциях, масштабам теплофикации) Советский Союз стоит на первом месте в мире.

Следующие данные характеризуют структуру распределения топливно-энергетических ресурсов между отраслями народного хозяйства в СССР (%):

	1960 г.	1970 г.	1975 г. (по плану)
Промышленность	56,2	55,6	54,1
Транспорт	13,4	11,6	12,0
Сельскохозяйственное производство	5,1	5,6	6,5
Жилищно-коммунальное хозяйство	20,1	20,0	20,3
Прочие	5,2	7,2	7,1
Итого	100,0	100,0	100,0

Как видно из этих данных, сложившиеся отношения в распределении энергоресурсов достаточно устойчивы с некоторой тенденцией к повышению доли непромышленных отраслей народного хозяйства.

Соотношение в развитии энергетики и экономики в целом является одной из важнейших народно-хозяйственных пропорций. Ежегодные капитальные вложения, направляемые в энергетическое хозяйство, возросли

Таблица 1-2

Отраслевая структура капиталовложений

Наименование	1965 г.	1970 г.	1974 г.
Вся промышленность	100,0	100,0	100,0
Топливо-энергетический комплекс:	32,1	28,7	28,4
электроэнергетика	12,2	10,9	9,7
угольная	6,9	5,4	4,9
нефтяная	10,0	8,8	9,0
газовая	3,0	3,6	4,8
Черная металлургия	8,9	7,3	8,1
Химическая и нефтехимическая	10,5	8,4	9,5
Машиностроение и металлообработка	15,4	21,4	21,9
Целлюлозно-бумажная	2,3	1,3	1,4
Стройматериалов	5,0	6,0	5,6
Легкая	3,7	4,4	4,3
Пищевая	8,3	8,2	8,0
Прочие	13,8	14,3	12,8

с 6,6 млрд. руб. в 1965 г. до 10,4 млрд. руб. в 1974 г. Место топливно-энергетического комплекса в отраслевой структуре капиталовложений в промышленность видно из табл. 1-2 (в процентах к итогу).

В отраслях топливно-энергетического комплекса сосредоточено 30% основных производственных фондов промышленности и 7,1%, промышленно-производственного персонала. Они производят 9,4% промышленной продукции¹. Как видно, для энергетики характерны высокая капиталоемкость и высокое органическое строение фондов образующих ее отраслей. Не менее значительна роль транспортной слагаемой топливно-энергетического комплекса. По данным межотраслевого баланса производства и распределения продукции за 1972 г. [Л. 70] затраты транспорта на производство продукции энергетических отраслей составляют 25% суммарных затрат топливно-энергетического комплекса, а перевозка продукции этих отраслей превышает 40%, грузооборота железнодорожного, речного и трубопроводного транспорта.

Электрификация и развитие электроэнергетики также связаны со значительными единовременными и текущими затратами материальных и трудовых ресурсов. В 1974 г. прямые капиталовложения в электроэнергетику, т. е. на строительство электростанций, электрических и тепловых сетей, а также вспомогательных объектов, достигли 3,6 млрд. руб. Кроме прямых капиталовложений развитие электроэнергетики отвлекает значительную часть капитальных затрат в смежных отраслях промышленности. С учетом этих сопряженных затрат полные капиталовложения на развитие электроэнергетики (на базе конденсационных электростанций) при учете межотраслевых связей только по предметам и средствам труда составляют 180% по отношению к прямым капиталовложениям [Л. 25]. Сюда включаются, в частности, капиталовложения на развитие топливной базы электроэнергетики, которая расходует в настоящее время около 25% всего топлива, используемого в народном хозяйстве СССР.

Значительны также текущие материальные затраты по производству и распределению электроэнергии. На

¹ Эти значения будут еще больше, если учесть затраты, связанные с потреблением энергии. Однако информация об этих затратах недостаточна.

уровне 1970 г. они составили примерно 20 млрд. руб. и ощутимо отражались во всех издержках по производству продукции. Если в 1960 г. в структуре затрат на производство промышленной продукции доля энергии (включая тепловую энергию, полученную от ТЭЦ и районных котельных) составляла 1,8%, то к 1973 г. она увеличилась почти в 1,5 раза и составила 2,5%.

Роль энергетической слагаемой в структуре затрат выявляется более полно, если учитывать не только прямые, но и косвенные затраты энергии по всей цепи взаимосвязанных отраслей, продукция которых необходима для работы данной отрасли. Так, по данным межотраслевого баланса за 1972 г. [Л. 70] затраты электроэнергии и теплоэнергии составляли по отдельным отраслям (в рублях на 1000 руб. продукции):

	Прямые затраты	Полные затраты
Продукты основной химии	89,9	132,6
Синтетические красители	37,6	88,5
Продукты нефтепереработки	26,7	47,7
Синтетические смолы и пластмассы	37,7	93,4
Кузнечно-прессовое оборудование	26,7	53,7
Продукция энергомашиностроения	22,6	54,1
Металлоконструкции	24,7	65,9
Продукция коксохимии	14,4	58,9
Продукты электротехнической промышленности	15,0	50,9
Автомобили	14,4	47,6
Кабельные изделия	11,9	78,5

Как видно из этих данных, в отношении ряда отраслей полные затраты электроэнергии и тепла (без учета топлива, потребляемого в непосредственном его виде) превышают прямые затраты в 1,5—6 раз*.

По отдельным видам высокоэлектроемкой продукции доля электроэнергии в структуре затрат достигает, как известно, 10—20%. Энергетика относится к отраслям, формирующим инфраструктуру экономики и ока-

* Приведенные выше данные характеризуют только те показатели электрификации, которые связаны непосредственно с производством и распределением электроэнергии и не включают затрат, относящихся к области ее использования. Оценка этих затрат представляется пока очень трудной, так как современные данные о структуре технологического потребительского аппарата в различных отраслях народного хозяйства не позволяют прямо оценить стоимость той его части, которая непосредственно связана с применением электроэнергии.

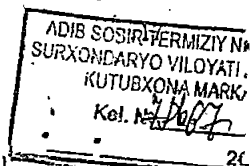
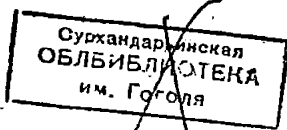
29/500

зывающим огромное влияние на эффективность общественного производства, его отраслевое строение и территориальную организацию. При этом специфической особенностью энергетики является всеобщий, постоянно повторяющийся характер ее связей со всеми отраслями и звеньями народного хозяйства. Энергетика, вооружая труд ресурсами природной энергии, создает основу роста производительности труда. Этот вопрос подробно рассматривается в последующих главах. Здесь отметим только, что за период с 1960 по 1974 г. энерговооруженность труда в промышленности увеличилась в 2,3 раза, а его электровооруженность возросла в 2,1 раза. За это же время производительность труда в промышленности также удвоилась. В настоящее время промышленное энергопотребление в расчете на 1 рабочего составляет около 20 т условного топлива; каждый трудящийся в промышленности СССР вооружен 111 кВт электрической мощности, что примерно в 140 раз увеличивает энергетический потенциал живой силы работающего.

Используемые в сельском хозяйстве энергетические мощности (без рабочего скота) возросли с 1960 по 1974 г. в 2,7 раза, а потребление электроэнергии увеличилось почти в 6 раз и достигло 66 млрд. кВт·ч. Энерговооруженность труда всеми видами энергетической мощности возросла в 2,8 раза и достигла 15,3 л. с. на одного работника. За этот же период производительность труда в сельском хозяйстве увеличилась в 1,9 раза [Л. 69, 70, 71].

Не менее существенна другая сторона этого процесса. Само материальное производство все больше становится процессом энергетическим, в котором с одной стороны используемые виды энергии выступают в качестве прямых производственных агентов (например, в процессах электролиза), а с другой стороны, новые производственные технологии нередко используют экзотермические процессы и в меру этого выступают как энергетические источники.

Непрерывный рост энерговооруженности труда, все большая замена оборота вещества оборотом энергии, глубинная связь энергетики с наиболее прогрессивными производственными технологиями — все это делает энергетику мощной движущей силой роста производительности труда и повышения эффективности производства. Если рассматривать энергетику как систему, то



на входе этой системы находятся производимые первичные энергоресурсы, на выходе — совокупность энергоносителей, поступающих в производственный аппарат потребителей.

Все это обуславливает многообразие и тесноту связи энергетики с народным хозяйством.

Следует подчеркнуть, что ряд звеньев энергетического хозяйства и прежде всего ведущая его отрасль — электроэнергетика — имеют очень тесные связи с потребителями, так как производственные режимы промышленности, сельского хозяйства, транспорта, характер работы коммунально-бытовых учреждений, условия и режим жизни людей непосредственно и синхронно определяют режимы работы энергетических систем и всего энергетического оборудования. Неравномерность этих режимов в суточном, недельном и годовом разрезах создают в энергетике ряд специфических сложных задач по выбору структуры оборудования и функциональной специализации различных видов энергообъектов.

Нарастающий эффект энергетики тесно связан и в большой степени обусловлен структурными сдвигами внутри самого энергетического хозяйства. К числу таких сдвигов относятся: изменения в структуре и географии размещения первичных энергоресурсов, вовлекаемых в энергетический баланс; изменения в соотношении первичных и конечных форм энергии; изменения в структуре энергоносителей; процессы концентрации и централизации производства; темпы роста коэффициента полезного использования энергоресурсов как следствие изменения параметров всех звеньев энергопроизводства и т. д.

Сложные взаимосвязи между отдельными частями энергетического хозяйства требуют нахождения оптимального пути его развития. Например, баланс котельно-печного топлива можно построить при самом разном сочетании видов первичных энергоресурсов (внутри каждого вида — разных бассейнов и месторождений), разных транспортных средств, разных конечных энергоносителей (электроэнергии, тепла или топлива, используемого непосредственно). Развитие каждой подсистемы энергетического хозяйства можно обеспечить с разной степенью концентрации и централизации производства, с разными параметрами оборудования. При ограниченности наиболее эффективных энергоресурсов

принимаемые решения об их развитии, как правило, затрагивают экономические характеристики всей энергетики и могут существенно влиять на условия развития народного хозяйства.

Задачи оптимизации развития энергетики требуют обязательного учета динамики экономических процессов. Так, капиталовложения и процессы создания крупных комплексов в энергетике нередко осуществляются в течение длительного времени — 10—15 и более лет (например, освоение Канско-Ачинского угольного бассейна, нефтегазовых районов Тюмени, реализация крупных водноэнергетических комплексов, массовое внедрение атомной энергетики и т. д.). Равным образом разработка стратегии развертывания атомной энергетики на основе оптимального сочетания реакторов на тепловых и быстрых нейтронах требует расчетов, учитывающих ряд десятилетий. Наконец, возможность многообразных чередований во времени объектов с разной капиталоемкостью и разными уровнями эксплуатационных затрат также предопределяет необходимость оптимизации энергетики в динамике с широким использованием долгосрочных народнохозяйственных прогнозов.

Не следует забывать и о большом значении энергетического фактора при решении задач территориальной организации производства. Крупные мероприятия в области энергостроительства нередко играют большую районообразующую роль, предопределяя направление капитальных вложений в различные отрасли производства, многократно превышающие затраты в собственно энергетику.

Нельзя также экономически правильно оценить место энергетики среди других производственных систем народного хозяйства, если не учесть некоторые специфические особенности энергетических ресурсов как «сырьевой базы» энергопроизводства. Так, энергетический ресурс, поступающий в ту или иную отрасль энергетического хозяйства, используется, как правило, лишь однократно. Это относится как к количеству потребляемого ресурса, так и к его потенциалу (температурный перепад в случае тепловой энергии, разность электрических потенциалов в электроэнергетике). Этим энергетика существенно отличается от других отраслей материального производства, например от металлургии, где имеет место многократный оборот металла, а ме-

таллолом является в ряде стран важным источником сырья металлургической промышленности.

Отмеченная выше широкая взаимозаменяемость первичных энергоресурсов и конечных форм энергии сочетается в топливно-энергетическом комплексе с их одновременной резкой расчлененностью по потребительскому эффекту и к. п. д. В последующих главах это положение широко иллюстрируется. Важно подчеркнуть, что при всех экономических оценках, расчетах и сравнениях охвату подлежит вся энергетическая цепочка от источника до потребителя энергии с учетом к. п. д. всех энергетических преобразований.

Исходя из этого можно сказать, что оптимальное планирование энергетического хозяйства означает выбор и вовлечение таких видов первичных ресурсов и конечных энергоносителей, производство, транспорт и использование которых позволяет с наименьшими затратами и требуемым уровнем надежности обеспечить энергетические нужды потребителей в народном хозяйстве страны.

Происходивший в СССР быстрый рост энергетического хозяйства сопровождался глубокими структурными изменениями, повышающими уровень эффективности энергетики страны. К числу этих изменений относятся:

опережающий рост электропотребления и производства электроэнергии по отношению к добыче топлива и росту национального дохода;

систематический рост удельного веса наиболее прогрессивных видов энергоресурсов — нефти и газа при одновременном значительном росте абсолютных масштабов добычи угля;

нарастающее использование у потребителей преобразованных видов энергии.

Таблица 1-3 характеризует сравнительную динамику показателей развития народного хозяйства и топливно-энергетического комплекса.

Таким образом, с 1940 по 1974 г. продукция отрасли электроэнергетики выросла в 25 раз при увеличении продукции топливных отраслей в 7,5 раза и объема промышленного производства в 16 раз. При этом национальный доход возрос в 10,9 раза. На 1% прироста национального дохода приходилось 0,75% прироста топливных ресурсов и 2,3% прироста электроэнергии. Динамика энергоемкости и электроемкости националь-

**Динамика показателей народного хозяйства и
топливно-энергетического комплекса**

Наименование	Индексы роста			
	1940 г.	1960 г.	1970 г.	1974 г.
Электроэнергетика	100	678	1848	2453
Топливная промышленность	100	353	636	795
Национальный доход	100	435	867	1092
Валовая продукция промышленности	100	524	1183	1575
Производительность труда в промышленности	100	296	492	621
Электровооруженность труда в промышленности	100	300	525	637
Энерговооруженность труда в промышленности	100	280	520	640
Энерговооруженность труда в сельском хозяйстве	100	360	750	1020

ного дохода в СССР, США и ФРГ представлена на рис. 1-1.

Аналогичная тенденция характерна как для мира в целом, так и для большинства стран. Так, при увеличении с 1950 по 1970 г. суммарного мирового общественного продукта в 2,7 раза потребление первичных энергоресурсов возросло в 2,5 раза и электроэнергии в 5 раз. Характеристики прироста составили 0,93% по энергоресурсам и 1,85% по электроэнергии.

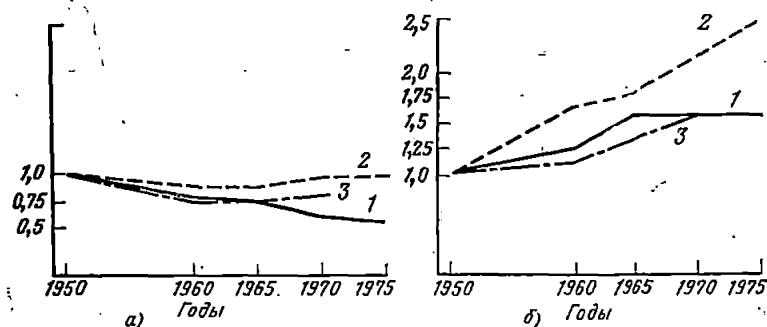


Рис. 1-1. Индекс энергоемкости и электроемкости национального дохода в СССР, США и ФРГ в 1950—1975 гг.

а — энергоемкость; б — электроемкость; 1 — СССР; 2 — США; 3 — ФРГ.

Нужно отметить, что в последние годы в СССР развитие электроэнергетики и промышленного электропотребления не опережало темпы роста объема промышленной продукции. Так, промышленная продукция в 1974 г. удвоилась по сравнению с 1965 г., промышленные основные фонды возросли в 2,1 раза, тогда как потребление электроэнергии в промышленности увеличилось на 89%. Эти соотношения являлись в большой мере следствием структурных сдвигов в промышленности страны, сопровождающихся повышением удельного веса ряда неэнергоемких отраслей. Следует вместе с тем полагать, что в условиях новых крупных задач в области технического прогресса и повышения качества продукции, решение которых связано с углублением электрификации, тенденция опережающего развития электроэнергетики будет отчетливо проявляться в перспективе.

Как было отмечено ранее, одним из наиболее характерных направлений развития современного энергетического хозяйства является использование у потребителей во все увеличивающихся масштабах энергетических ресурсов, предварительно преобразованных на электростанциях, промышленных и районных котельных или прошедших глубокую переработку на нефтеперерабатывающих, коксовых, брикетных заводах.

Ниже приведены показатели, характеризующие эту тенденцию (% к итогу) [Л. 124].

	1969 г.	1970 г.	1975 г. (по плану)
Суммарный расход первичных топливно-энергетических ресурсов	100,0	100,0	100,0
В том числе:			
поступивших на предварительную глубокую переработку	66,2	75,6	80,1
переданных для непосредственного использования в установках потребителей	33,8	24,4	19,9

Анализ изменений областей применения конечных энергоносителей и совершенствования схем теплоснабжения позволяет сформулировать важную закономерность развития энергетического хозяйства: снижение доли энергии, получаемой от сжигания топлива непосредственно в потребительских установках, и увеличе-

ние доли электроэнергии и централизованно генерируемой теплоэнергии. В свою очередь это приводит к дальнейшим сдвигам в структуре расхода энергетических ресурсов: увеличению доли природных источников энергии, идущих на производство электроэнергии; довольно быстрому сокращению доли топлива, сжигаемого непосредственно в конечных потребительских установках; стабилизации доли энергетических ресурсов, направляемых на получение пара и горячей воды (табл. 1-4).

Таблица 1-4

Структура конечного потребления энергетических ресурсов по основным направлениям использования, %

Направление использования	Современный уровень	Перспектива
На выработку электроэнергии	17	23
На выработку пара и горячей воды	20	24
Непосредственное потребление в конечных потребительских установках	44	29
В том числе:		
печах и технологических установках	17	11
силовых установках	14	13
мелких тепловых установках	13	5
Нетопливные нужды, потери и прочие расходы, включая экспорт	19	24
Всего	100	100

Как известно, тепловая энергия низкого и среднего потенциала производится с к. п. д. более высоким, чем тепловая энергия высокого потенциала и тем более энергия, расходуемая на силовые процессы и на получение электроэнергии. Поэтому указанная перспективная структура конечного потребления и связанные с ней пропорции в расходовании энергии природных источников приведут к замедлению роста среднего коэффициента использования потенциальной энергии потребляемых энергетических ресурсов.

В настоящее время в СССР около 40% потенциальной энергии расходуемых ресурсов полезно используется конечными потребительскими установками. В ближайшие 10 лет можно ожидать увеличения среднего коэффициента полезного использования энергии еще на 1—2% с доведением его абсолютного значения до 40—42%. В последующее десятилетие степень использова-

ния энергии природных ресурсов может повыситься, по-видимому, лишь еще на 2—3%, по двум основным причинам: во-первых, из-за постепенного истощения резервов повышения к. п. д. классических методов производства тепловой и электрической энергии и, во-вторых, из-за опережающих темпов роста электропотребления.

Ближайшим мероприятием по повышению среднего коэффициента использования энергоресурсов является рост удельного веса комбинированного производства электроэнергии и тепла, позволяющего получить на электростанции к. п. д. до 80%. Дальнейший рост к. п. д. будет связан с внедрением новых методов производства электроэнергии (магнетогидродинамический метод, внедрение криогенной техники и др.).

Непрерывный рост энергопотребления народным хозяйством страны требовал неуклонного возрастания производства электроэнергии и добычи первичных энергоресурсов. Масштабы развития топливно-энергетического комплекса с 1940 г. характеризуются следующими данными:

Объемы производства	1940 г.	1960 г.	1970 г.	1974 г.
Энергоресурсы, млн. т условного топлива	238,3	699,1	1237,0	1513,3
Электроэнергия, млрд. кВт·ч	48,3	292,3	740,0	975,8
Нефть, млн. т	31,1	147,9	353,0	458,9
Газ, млрд. м ³	3,2	45,3	197,9	260,6
Уголь, млн. т	165,9	509,6	624,1	684,5
Гидроэнергия, млн. т условного топлива	0,6	6,3	15,1	16,2

При этом произошло существенное изменение структуры добытых (произведенных) первичных энергоресурсов, %:

Годы	Нефть	Газ	Уголь	Торф	Гидро-энергия	Прочие
1940	18,6	1,9	59,0	5,7	0,3	14,5
1960	30,3	7,8	53,4	2,9	0,9	4,7
1970	40,6	18,9	35,0	1,4	1,2	2,9
1973	42,7	19,7	32,6	1,4	1,1	2,5
1974	43,4	20,6	31,8	0,9	1,1	2,2

Как видно, за период с 1960 по 1974 г. удельный вес нефтегазового топлива увеличился с 38,1 до 64%, а доля угля снизилась с 53,4 до 31,8%. Резкое увеличение удельного веса нефтегазового топлива характерно и для мирового топливно-энергетического баланса (табл. 1-5).

Таблица 1-5

**Структура мирового потребления основных
энергоресурсов (% к итогу)**

Годы	Всего	Нефть	Природ- ный газ	Уголь		Превес- щее топливо	Гидро- энергия	Тот ф
				Всего	В том числе каменный			
1913	100	4,9	1,4	80,0	77,4	10,4	2,9	0,4
1950	100	23,8	9,0	54,1	49,0	5,9	6,6	0,6
1965	100	34,5	16,4	37,3	32,7	5,3	6,2	0,3
1970	100	39,5	19,4	30,4	25,6	4,2	6,2	0,3
1974	100	42,5	20,7	27,4	23,5	3,7	5,6	0,2

Динамика изменения структуры мирового энергетического баланса за длительный период характеризуется данными рис. 1-2 и рис. 1-3.

Из графика видны глубокие сдвиги, происходившие в структуре энергетического баланса. Так, в середине прошлого столетия достигает своего пика использование древесного топлива, в дальнейшем вытесняемого углем. Удельный вес последнего становится максимальным в 20-х годах текущего столетия. Затем доля угля начинает резко снижаться за счет быстрого увеличения удельного веса нефтяного топлива, а затем природного газа. При этом нефтегазовые ресурсы начинают все больше использоваться в качестве котельно-печного топлива. В 1974 г. удельный вес нефти и газа в мировой структуре используемых энергоресурсов составил 66,0%. В США доля нефтегазового топлива в энергетическом балансе достигла 80%, а в Японии превысила эту цифру.

Величина и структура потребляемых энергоресурсов в расчете на душу населения видны из рис. 1-4.

Рост потребления нефтетоплива привел к тому, что экономика все большего числа стран оказалась в зависимости от импорта энергоресурсов. За 1950—1970 гг. доля импорта в энергоснабжении Западной Европы выросла с 16 до 61%; в Японии за тот же период импорт энергоресурсов возрос с 7 до 85% общего потребления в стране. В США, располагающих значительными запасами энергоресурсов, доля импорта увеличилась с 3 до 8%, а импорт нефти (включая нефтепродукты) увели-

чился с 9 до 23% общего потребления нефтетоплива в стране. В 1974 г. доля импортной нефти превысила 30% всего потребляемого нефтетоплива в США, а в 1975 г. приблизилась к 40%.

В отличие от ряда стран Западной Европы, где объем производства угля сократился, в СССР абсолютные масштабы добычи угля возросли за этот период почти на 30%, а по сравнению с 1940 г. увеличились почти

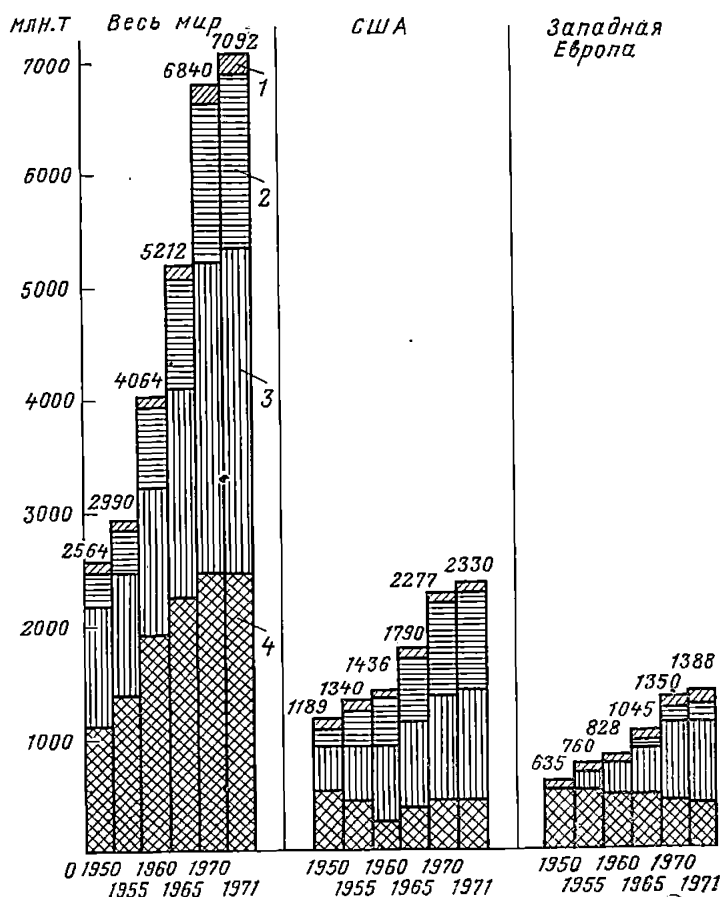


Рис. 1-2. Потребление энергии в 1950—1971 гг. (в условном топливе). 1 — гидроэнергия и ядерная энергия; 2 — природный газ; 3 — нефть; 4 — уголь.

в 4 раза. Это явилось важным фактором сбалансированности всей системы энергоснабжения страны.

Из общего количества энергоресурсов, добываемых в мире, около трети расходуется на производство электроэнергии. Одновременно с изменением структуры ге-

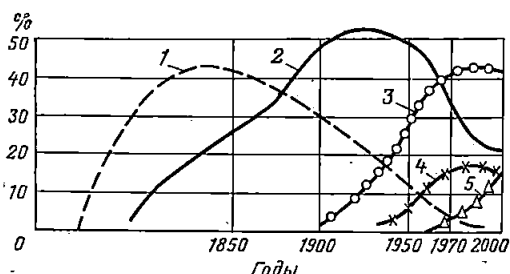


Рис. 1-3. Мировое потребление различных энергоресурсов до 2000 г. (Доклад 1.2-6 на IX Мировой энергетической конференции, Детройт, 1974).

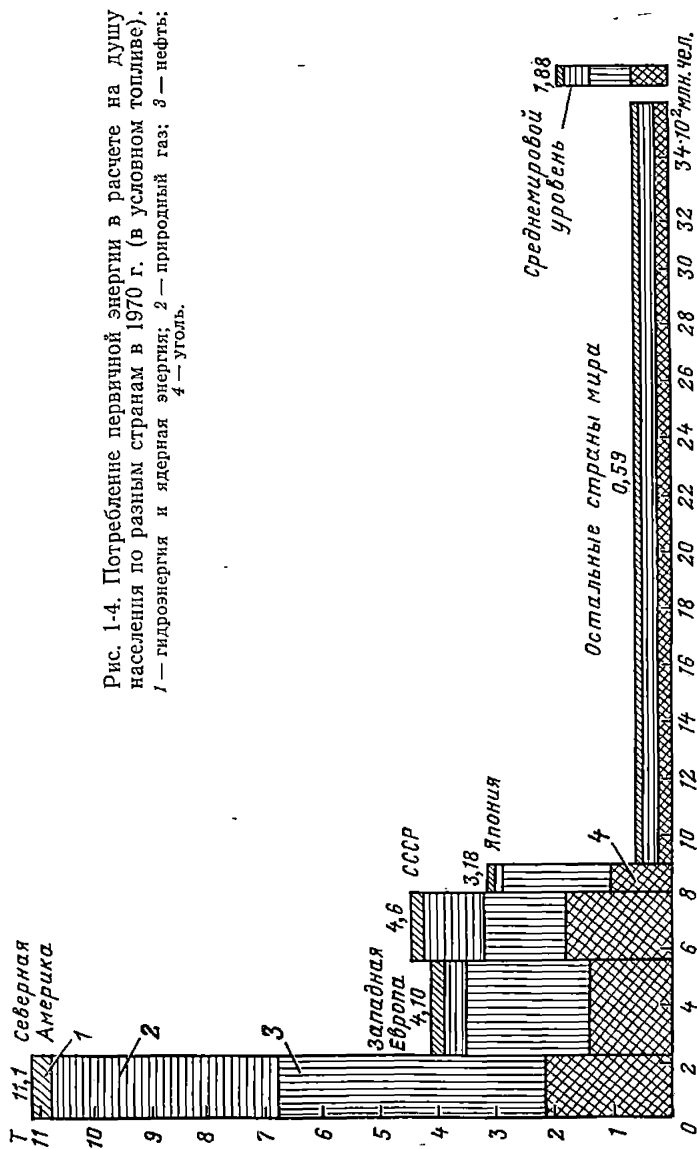
1 — древесное топливо; 2 — уголь; 3 — нефть; 4 — газ; 5 — ядерное топливо.

нерирующих мощностей (связанным с быстрым развитием атомной энергетики, изменением роли гидроэлектростанций, широким применением газовых турбин и

Таблица 1-6

Производство электроэнергии в мире в 1974 г.

Наименование	Валовая выработка, млрд. кВт·ч			
	ТЭС	ГЭС	АЭС	Всего
Весь мир	4604	1446	240	6290
СССР	827,0	130,0	18,0	975,0
Социалистические страны	318,1	38,4	1,3	357,8
Европы				
Западная Европа	954,7	365,0	82,8	1402,5
Северная Америка	1646,3	607,6	123,0	2376,9
Латинская Америка	93,6	83,8	—	177,4
Азия	597,7	177,5	15,7	790,9
Африка	97,7	22,8	—	120,5
Австралия и Океания	68,4	20,6	—	89,0
Отдельные страны				
США	1550,0	400,0	107,0	2057,0
Япония	360,0	90,0	12,0	462,0
ФРГ	273,4	18,7	12,5	304,6
Англия	236,3	5,5	32,1	273,9
Франция	114,5	59,0	14,5	188,0
Канада	73,0	190,0	16,0	279,0



др.) изменяется и доля участия различных типов электростанций в производстве электроэнергии (табл. 1-6).

За три года, с 1970 по 1974 г., среднее в мире потребление электроэнергии на душу населения в год повысилось с 1400 до 1640 кВт · ч.

Представляют интерес ориентировочные оценки масштабов потребления энергоресурсов и электроэнергии на более отдаленную перспективу, вплоть до 2000 г., для мира в целом и для СССР, приводившиеся в литературе и на последнем IX конгрессе Мировой энергетической конференции (МИРЭК-IX, Детройт, 1974).

Прогнозы экспертов в различных странах отмечают, что потребление первичной энергии в предстоящие 20—30 лет достигнет 10—12 млрд. т условного топлива к 1980 г. и 20—30 млрд. т условного топлива к 2000 г. В данном диапазоне между оценками экспертов имеются различия. Данные одного из прогнозов общего и удельного потребления приведены в табл. 1-7 (в условном топливе).

Таблица 1-7

Прогноз мировой потребности в энергии

Годы	Потребность в энергии, млрд. т	Население, млн. чел.	Годовое удельное потребление энергии, кг/чел
1975	8,8	3796	2320
1980	11,0	4050	2720
1985	15,0	4480	3350
1990	17,0	4600	3700
2000	25,0	5200	4800

Во время обсуждения этого вопроса на МИРЭК-IX советские ученые указывали на то, что при соответствующей технической политике, направленной на более рациональное использование энергоресурсов, и необходимых капиталовложениях, прирост потребности может быть снижен на 15—20%, а общая мировая потребность к 2000 г. могла бы не превысить 20—22 млрд. т условного топлива (годовой прирост менее 4%).

В этих условиях можно предположить, что энергоемкость мирового валового продукта будет снижаться.

Уровень и вероятная структура мирового энергетического баланса по оценкам специалистов СССР, доложенным на МИРЭК-IX, характеризуются данными табл. 1-8.

Таблица 1-8

Потребление коммерческих энергоресурсов в мире

Годы	Потребление энергоресурсов, млрд. т условного топлива	Доля в общем потреблении, %			
		Уголь	Нефть и газ	Гидроэнергия	Атомная энергия
1980	10—11	18	65	3	14
2000	22	15	58	2	25

Рост электропотребления будет опережать темпы роста потребления первичных энергоресурсов (табл. 1-9).

Таблица 1-9

Потребление электроэнергии и рост установленных мощностей электростанций мира до 2000 г.

Годы	1980	1985	1990	2000
Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч	9250	13 000	17 000	30 000
Установленная мощность электростанций, млн. кВт	2140	3000	4000	7000

Оценка масштабов перспективного электропотребления основывается не только на роли электроэнергии как базы технического прогресса и роста производительности труда в отраслях — потребителях энергии. Чрезвычайно важно учитывать, что использование вместо нефтегазового топлива таких энергоресурсов, как уголь, лигниты, атомная энергия, гидроэнергия и др., практически возможно лишь через электроэнергию.

Таким образом, экономия нефти и газа тесно связана с дальнейшим повышением роли электроэнергии, возрастанием электротопливной характеристики энергетического баланса (в условном топливе): 750 кВт·ч/т в настоящее время и 1400 кВт·ч/т в 2000 г.

Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг. предусматривают довести добычу нефти в 1980 г. до 620—640 млн. т, газа до 400—435 млрд. куб. метров, угля до 790—810 млн. т. Соответственно (в условном топливе) общее количе-

ство поступающих в народное хозяйство энергоресурсов превысит 2 млрд. т.

Производство электроэнергии, составившее в 1975 г. 1038 млрд. кВт·ч, достигнет в 1980 г. 1340—1380 млрд. кВт·ч.

В 1975 г. установленная мощность электростанций страны достигла 218 млн. кВт.

В десятом пятилетии ввод мощности на электростанциях определен в 67—70 млн. кВт, в том числе на атомных 13—15 млн. кВт (22% вводимой мощности). Как отмечалось на XXV съезде КПСС, в ближайшие три пятилетки ввод мощности на электростанциях СССР может составить 300 млн. кВт* и, следовательно, в начале девяностых годов установленная мощность электростанций будет близка к полумиллиарду киловатт. Но даже если этот уровень будет несколько другим, он дает все же возможность выявить и оценить масштабы происходящих сдвигов в энергетике, что позволяет наметить первоочередные мероприятия по подготовке ресурсов. К этим мероприятиям необходимо приступить уже сейчас, чтобы обеспечить своевременное и рациональное развитие энергетического хозяйства в целом. Поэтому особо важное значение принадлежит оценке того, в какой мере огромные потребности экономики страны в топливе и энергии обеспечиваются потенциальными первичными энергетическими ресурсами.

1-2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ СССР И МИРА

В докладе тов. А. Н. Косыгина на XXV съезде КПСС отмечалось: «Советский Союз является единственным в мире крупным индустриальным государством, которое базирует свое экономическое развитие на собственных топливно-энергетических ресурсах». Хорошо известны угольные бассейны страны — Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский, Экибастузский, Канско-Ачинский и др. Запасы нефти и природного газа сосредоточены в районах Поволжья и Нижней Оби, Средней Азии, Оренбурга и др. Экономический потенциал гидроэнергоресурсов превышает 1000 млрд. кВт·ч.

Оценки, сообщенные Геологическим фондом СССР для Мировой энергетической конференции 1974 г. и во-

* Выступление П. С. Непорожного. — «Правда», 1976, 4 марта.

шедшие в «Сводный обзор энергоресурсов мира» [Л. 131], содержат данные о запасах твердого топлива до глубины 1000 м и определяются в размере 5713 млрд. т. Общие запасы природного газа определены в 113 трлн. м³.

Распределение энергоресурсов по территории страны видно из табл. 1-10.

Таблица 1-10

Территориальное распределение потенциальных энергетических ресурсов СССР¹

Район	Всего потенциальных ресурсов, %	Виды ресурсов, % к итогу				
		Уголь	Газ	Сланцы	Торф	Гидро-энергия
Северо-Запад	4,4	3,4	5,2	60,2	14,9	2,8
Центр, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский	0,3	0,3	0,1	0,1	2,4	0,9
Поволжье	0,4	—	6,3	8,7	0,2	1,9
Северный Кавказ	1,0	0,8	5,7	—	—	3,3
Прибалтика и Белоруссия	0,3	—	0,5	28,0	11,7	0,5
Украина, Молдавия	1,0	1,7	5,1	—	1,3	1,7
Закавказье	0,1	—	2,5	—	0,1	5,9
Урал	0,3	0,2	2,1	—	5,4	2,6
Западная Сибирь	12,8	11,4	34,0	—	57,5	5,4
Восточная Сибирь	47,0	48,6	5,0	3,0	3,1	27,9
Дальний Восток	28,3	29,7	16,2	—	3,4	28,5
Казахстан	2,4	2,3	4,2	—	—	4,8
Средняя Азия	0,8	0,6	13,5	—	—	142
Всего	100,0	100	100	100	100	100
В том числе:						
Европейская часть и Урал	8,7	6,4	27,1	97,0	36,0	19,2
Восточные районы	91,3	93,6	72,9	3,0	64,0	80,8

¹ Шелест В. А. Региональные энергэкономические проблемы СССР, М., «Наука», 1975, с. 149.

Одной из важнейших народно-хозяйственных задач является своевременная разведка и перевод геологических запасов в промышленные категории. Советский Союз, отмечает «Сводный обзор энергоресурсов мира», стоит на одном из ведущих мест в мире как по сум-

марному значению топливно-энергетического потенциала, так и по ресурсам угля и природного газа (табл. 1-11).

Таблица 1-11

Мировые запасы твердого топлива

Страна, регион	Общие геологические запасы, млрд. т
СССР	5713
США	2926
КНР	1011
Канада	109
Европа (без СССР)	608
Другие страны	388
Итого	10 755

Запасы природного газа колеблются в весьма больших интервалах, причем крайние значения различаются в 10 раз. Вместе с тем практически все эксперты ставят Советский Союз по ресурсам природного газа на одно из ведущих мест в мире.

Оценки мировых ресурсов нефти крайне ненадежны, и поэтому реальная обеспеченность запасами нефти мирового потребления не может быть достоверно установлена.

В связи с возрастающей потребностью в нефти и высоким уровнем цен на нефть повышается интерес к нефтеносным пескам и сланцам. Разведанные их запасы находятся в Южной Азии, Северной Америке, СССР и некоторых других районах. Однако сложность технологии и высокая стоимость, а также проблемы охраны окружающей среды являются серьезным препятствием на пути использования этих ресурсов.

Значительный интерес представляет использование гидроэнергетических ресурсов.

Мировой теоретический гидроэнергетический потенциал может быть определен на основе среднесуточной величины осадков и среднего возвышения суши над уровнем моря. Осадки, выпадающие на территорию земли, определяются в 100 тыс. км³. Из этого количества 2/3 теряются в результате повторного испарения,

а около 37 тыс. км³ образуют суммарный годовой сток всех рек земного шара. Соответствующая этой величине стока выработка электроэнергии за вычетом потерь оценивается в 9800 млрд. кВт·ч, или 2300 млн. кВт потенциальной установленной мощности, а при 95% обеспеченности — в 4400 млрд. кВт·ч. Этой выработке соответствует 554 млн. кВт потенциальной установленной мощности. Наиболее богаты гидроэнергоресурсами следующие страны (при среднемноголетнем стоке):

	млрд. кВт·ч	млн. кВт
КНР	1320	330
СССР	1095*	269
США	701,5	186,7
Заир	660	132
Канада	535,2	94,5
Бразилия	519,3	90,2

* По СССР „Survey of Energy Resources“ приводит данные экономического потенциала. Технически возможные к использованию гидроэнергоресурсы СССР в действительности составляют 2160 млрд. кВт·ч („Гидроэнергетические ресурсы“, М., „Наука“, 1968. 598 с.).

Суммарная установленная мощность гидроэлектростанций мира в настоящее время составляет 300 млн. кВт с годовой выработкой электроэнергии 1300 млрд. кВт·ч.

Наиболее полно использованы гидроэнергоресурсы в Японии — 63% среднемноголетнего потенциала, в Европе (без СССР) — 53%, в США и Канаде — 30%. Значительные неиспользованные ресурсы гидроэнергии сосредоточены в Азии, Африке и Латинской Америке. В СССР по стране в целом ресурсы гидроэнергии использованы на 11%, однако в европейской части этот процент достигает 39%.

Сравнительные уровни развития гидроэнергетики в 1974 г. характеризуются следующими данными:

	Мир	СССР	США	Канада	Япония
Установленная мощность, млн. кВт	350*	37	63	37,3	23
Выработка электроэнергии, на ГЭС, млрд. кВт·ч . .	1446	130	310**	190	90
Удельный вес ГЭС по мощности, %	24,0	18,0	12,7	64,5	23,1
Удельный вес ГЭС в выработке электроэнергии, %	22,8	13,3	15,0	70,0	19,5

* Оценка.

** Данные 1973 г.

Место гидроэлектростанций в электробалансе СССР видно из следующих данных:

Годы	Все электростанции		В том числе ГЭС	
	Мощность, млн. кВт	Производство электроэнергии, млрд. кВт·ч	мощность, млн. кВт	производство электроэнергии, млрд. кВт·ч
1950	19,6	91,2	3,2	12,7
1960	66,7	292,3	14,7	50,9
1970	166,2	740,9	31,4	124,4
1973	195,6	914,7	35,3	122,3
1974	205,4	975,8	37,0	132,0

Таким образом, с 1950 по 1974 г. производство электроэнергии на гидростанциях выросло более чем в 10 раз, а установленная мощность — в 12 раз. Доля ГЭС в выработке электроэнергии в настоящее время составляет около 14%, в установленной мощности примерно 18%.

Нарастающее значение в структуре энергоисточников приобретает ядерное горючее. По данным упомянутого «Обзора энергетических ресурсов» (МИРЭК-IX) мировые запасы урана, которые могут быть получены по цене до 39 долл/кг, оцениваются без учета запасов в социалистических странах в 4 млн. т (в металле).

При более высокой стоимости добычи запасы урана резко возрастают. Так, при цене до 200 долл/кг запасы урана исчисляются уже в сотни миллионов тонн.

Мировые запасы тория по цене до 26 долл/кг оцениваются в 1,73 млн. т; около 20% этого количества относятся к категории «достаточно достоверных ресурсов».

Мировой объем добычи урана в 1972 г. (без социалистических стран) составил 20,7 тыс. т, в том числе 10,6 тыс. т добыто в США, 4 тыс. т — в Канаде, 3,1 тыс. т — в ЮАР. Мировая добыча тория не превысила 1 тыс. т.

Планомерное освоение энергетических ресурсов является одним из важнейших факторов рациональной территориальной организации энергетического хозяйства. Многообразные аспекты этой проблемы требуют специального рассмотрения и в настоящей работе не излагаются¹. Необходимо, однако, коснуться центрального вопроса — о предстоящих изменениях в размеще-

¹ Наиболее широко проблемы территориальной организации энергохозяйства в составе промышленного производства анализируются в работах проф. А. Е. Пробста.

нии добычи первичных энергоресурсов и их отношения к размещению энергопотребления. Как известно, обширные запасы энергетических ресурсов весьма неравномерно распределены по территории страны — решающая их часть расположена в азиатской части страны. Приведенные ниже данные характеризуют это положение (в процентах к итогу по стране):

	Геологические запасы топлива и энергии	Потребление энергетических ресурсов	Производство первичных энергоресурсов	Производство электроэнергии
Европейская часть СССР				
и Урал	10	80	56	72
Восточные районы страны	90	20	44	28

Как видно из этих данных, существует резкое несоответствие между географическим размещением запасов топлива и энергии и потреблением энергоресурсов. Вместе с тем потребности европейской части до сих пор в решающей степени удовлетворялись за счет ограниченных запасов энергетических ресурсов самих этих районов, хотя удельный вес восточных районов непрерывно возрастал.

Удельный вес районов восточнее Урала в добыче топливных ресурсов (%):

	1940 г.	1970 г.	1973 г.
Добыча или производство:			
нефти	6,3	18,1	30,0
природного газа	0,5	29,8	38,7
угля	28,7	43,2	46,7
электроэнергии	9,2	26,2	26,9

Неоднократные исследования показали, что несмотря на значительный рост атомной энергетики в европейской части СССР дальнейшее развитие предполагает все более широкое использование опломных ресурсов восточных районов СССР. Они призваны обеспечить не только все более быстрое экономическое развитие Сибири, Средней Азии и Дальнего Востока, но и создание устойчивых мощных потоков энергоресурсов в европейские районы страны.

Это требует обеспечить для топливно-энергетических баз восточных районов и сопряженных с ними производств опережающие темпы развития не только по отношению к топливным и энергетическим отраслям

страны в целом, но и потребности в топливе и энергии самих восточных районов СССР.

Важнейшей движущей силой указанных одвигов наряду с огромными количественными задачами роста энергетического баланса страны является резкий перепад стоимости топливных ресурсов в европейской части и Сибири. Он достигает 6—7-кратных значений, т. е. стоимость топлива в центральных районах европейской части страны составляет примерно 20—22 руб/т условного топлива против 3—4 руб/т. условного топлива в районах Центральной Сибири.

Наряду с высокими темпами развития нефтяной и газовой промышленности страны должно произойти существенное усиление роли добычи угля (осуществляемой по преимуществу открытым способом) и атомной энергии. Особое значение при этом будут иметь комплексные программы развития Канско-Ачинского, Экибастузского и Кузнецкого угольных бассейнов, а также дальнейшее гидростроительство на реках Ангаре и Енисее. Удовлетворяя быстро растущие потребности в энергоресурсах на Востоке страны, они должны одновременно обеспечить и увеличение доли энергоресурсов Сибири в приходной части энергетического баланса европейских районов.

Предварительный анализ показал, что для осуществления намечаемых потоков энергии на трассе Восток—

Таблица 1-12

Сравнительная экономичность основных видов топлива в центральных районах европейской части страны

Вид топлива и способ транспортировки	Стоимость, руб/т условного топлива		
	топлива на месте добычи	транспорта топлива	топлива в центральных районах
Донецкий уголь	18—20	3—3,5	21—23,5
Кузнецкий уголь	7—10	11—12	18—22
Канско-ачинский уголь:			
перевозка по железной дороге пылевидного полукокса	7	12	19
передача по ЛЭП 2200 кВ	2,5	10	12,5
Экибастузский уголь:			
перевозка по железной дороге	2,5	14	16,5
передача по ЛЭП 1500 кВ	2,5	11,5	14
Тюменский газ	6—8	10—11,5	16—19,5

Запад потребует привлечь все основные виды транспорта: газо- и нефтепроводы, линии электропередачи сверхвысоких напряжений, железные дороги. Рациональное соотношение различных видов транспорта должно быть установлено на основе обобщения детальных разработок комплекса конкретных программ освоения энергетических баз восточных районов страны.

Таблица 1-12 характеризует ориентировочные экономические показатели некоторых энергоресурсов, поступающих из восточных районов в европейскую часть СССР (по данным «Энергосетьпроекта»), в зависимости от вида транспорта.

Хотя приведенные в табл. 1-12 ориентировочные показатели стоимости отдельных видов топлива и энергии и их соотношения будут уточняться при дальнейшем проектировании, важно отметить, что стоимости ресурсов, поступающих в европейскую часть из восточных районов страны, существенно ниже стоимости замыкающего донецкого угля.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

2-1. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОВООРУЖЕННОСТЬЮ ТРУДА

Электрификация, являясь основой технического прогресса и обобществления социалистического производства, представляет собой важный фактор экономического роста. Масштабы и направления электрификации во многом определяются ее воздействием на динамику экономического роста на каждом этапе развития общественного производства. Поэтому исследование количественных взаимосвязей между уровнем электрификации и параметрами экономического роста — одна из важных задач энергетической и экономической науки.

Это исследование чрезвычайно сложно. Обычно при качественном анализе факторов экономического роста, к которым относятся совершенствование технического уровня производства (структура и производительность орудий труда, структура и качество предметов труда,

структура и эффективность технологий), совершенствование организации производства (уровни концентрации, специализации и кооперирования), улучшение организации труда и т. д. (см., например, [Л. 16, с. 58]), электрификация народного хозяйства как самостоятельный фактор экономического роста, как правило, не рассматривается. Это объясняется тем, что влияние электрификации на развитие общественного производства проявляется не непосредственно, а через сложную систему ее взаимодействия со всеми другими факторами роста, со всеми функциональными элементами.

(Именно поэтому попытки найти прямые функциональные зависимости между темпами потребления электроэнергии или электровооруженности труда и темпами экономического роста или темпами роста производительности труда вряд ли могут быть удачными. Более плодотворными, по-видимому, могут оказаться статистические методы исследования, в частности корреляционный анализ соотношений между показателями электрификации и показателями экономического роста¹.

Среди зависимостей между показателями электрификации и другими факторами экономического роста большой интерес представляют, например, зависимости между уровнями:

электровооруженности и производительности труда, что соответствует соотношению между уровнями потребления электроэнергии и производства продукции;

электровооруженности труда и автоматизации производства;

электровооруженности труда и концентрации производства;

электровооруженности труда и его фондовооруженности.

Следует иметь в виду, что эти зависимости, подробно рассмотренные ниже, относятся к разным уровням иерархии планирования и управления. Так, фондовооруженность труда является главным фактором экономического роста, комплексно характеризующим количественно и качественно влияние других факторов, в том числе производительности труда, технического уровня производства. В то же время развитие автома-

¹ Этому вопросу посвящен ряд работ И. Н. Бессоновой, Н. М. Виленского, А. Г. Захарина, Я. Б. Кваши, Н. Г. Полещука, Е. О. Штейнгауза и других исследователей [Л. 33, 102, 80].

тизации производства, которая многими экономистами расценивается в качестве исходного пункта современной научно-технической революции и, следовательно, самостоятельного фактора экономического роста, может рассматриваться как один из элементов технического уровня производства и его организации.

Так как производительность труда определяется его вооруженностью природной энергией и прежде всего наиболее качественной, преобразованной ее формой — электроэнергией, то размер потребления последней на одного рабочего (электровооруженность труда) должен характеризовать и уровень его производительности.

Этот тезис иллюстрируется следующими соотношениями по промышленности некоторых стран мира, приведенными в табл. 2-1.

Таблица 2-1

Соотношение между странами по электровооруженности и производительности труда¹

Страна	Год	Доля страны в мировом промышленном производстве, %	Выпуск продукции			Потребление электроэнергии на одного работающего	
			Всего, млрд. руб.	на одного работающего		тыс. кВт·ч	% к СССР
				тыс. руб.	% к СССР		
СССР	1965	20,0	234	8,7	100	12,8	100
США	1964	30,7	360	17,4	202	36,0	203
ФРГ	1965	6,4	75	6,4	80	10,3	80,5
Италия	1964	2,9	34	7,2	84	10,8	86
Мексика	1960	0,5	6	3,5	41	4,3	34
Индия	1961	0,9	11	1,4	16	2,0	15,6

¹ Волков О. Показатели технического уровня производства. — «Вопросы экономики», 1970, № 8, с. 58—67.

Исследования зависимости роста производительности труда от повышения уровня его электровооруженности показывают высокую степень корреляционной связи этих показателей. За 1950—1970 гг. коэффициент парной корреляции между ростом производительности труда и повышением его электровооруженности по расчетам НИЭИ при Госплане СССР составил 0,9957. Следует отметить при этом, что столь же высока была взаимосвязь между ростом производительности труда и ростом его энерговооруженности, составляющая 0,9893 [Л. 16].

Для характеристики связи между электровооруженностью и производительностью труда в отдельных отраслях промышленности СССР неоднократно выводились линейные корреляционные соотношения. Так, статистический анализ этих показателей за 1960—1970 гг. позволил рассчитать следующие зависимости [Л. 102]:

Отрасль промышленности	Характеристика
Топливная	$\Delta_{э.т} = 2,63 \text{ } П_{т} - 9,06$
Черная металлургия	$\Delta_{э.т} = 3,93 \text{ } П_{т} - 20,35$
Цветная металлургия	$\Delta_{э.т} = 4,78 \text{ } П_{т} + 11,44$
Машиностроение	$\Delta_{э.т} = 0,44 \text{ } П_{т} + 2,38$
Химическая	$\Delta_{э.т} = 2,83 \text{ } П_{т} + 2,21$
Легкая	$\Delta_{э.т} = 0,26 \text{ } П_{т} - 0,17$

Здесь $\Delta_{э.т}$ — электровооруженность труда, индекс;
 $П_{т}$ — производительность труда, индекс.

В этих выражениях знак $+$ означает, что электровооруженность труда растет по темпам медленнее, чем производительность; знак $-$ означает, что электровооруженность труда растет опережающими темпами по сравнению с ростом производительности труда.

Вопрос об опережении роста электровооруженности труда над ростом его производительности является весьма существенным. Как известно, принцип опережающего роста электровооруженности труда реализовывался на многих этапах хозяйственного строительства в нашей стране, начиная с периода выполнения плана ГОЭЛРО. Так, например с 1928 по 1950 г. производительность труда на одного рабочего в промышленности увеличилась в 4,7 раза, а электровооруженность труда более чем в 6 раз. За период с 1950 по 1970 г. электровооруженность труда продолжала расти опережающими темпами и по этому показателю СССР находился на уровне развитых стран Западной Европы, существенно уступая только США (рис. 2-1). Электроемкость промышленной продукции, темпы роста которой отражают степень опережения электровооруженности труда над его производительностью, увеличилась с 1,2 до 1,31 кВт·ч на 1 рубль валовой продукции, т. е. на 9% или в среднем на 0,45% в год. Однако последние годы характеризовались стабилизацией и даже снижением электроемкости промышленной продукции в СССР.

Так, с 1965 по 1974 г. промышленная продукция увеличилась в 2,0 раза, а потребление электроэнергии

В промышленности возросло с 349,4 до 620,7 млрд. кВт·ч, т. е. только в 1,78 раза; при этом электроемкость промышленной продукции снизилась почти на 10%. Это снижение в известной степени можно считать закономерным и связанным с происходящими в промышленности отраслевыми и технологическими сдвигами, а также с большой работой, проведенной промыш-

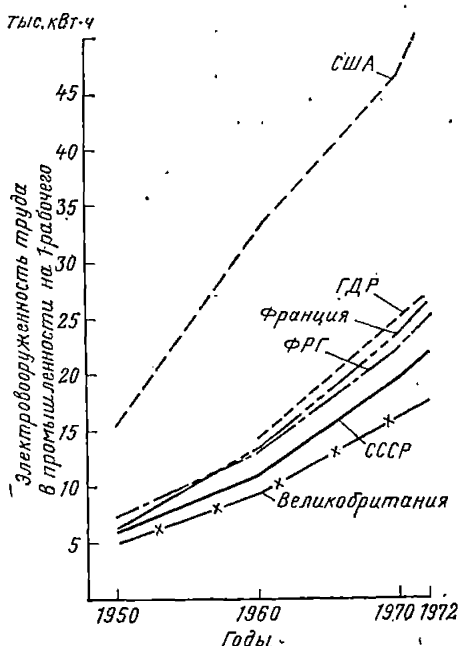


Рис. 2-1. Электровооруженность труда в промышленности.

ленной энергетикой в области экономии электроэнергии. Очевидно, в зависимости от условий развития происходит смена одних тенденций другими. Исследование степени опережения роста электровооруженности над его производительностью имеет смысл для больших периодов времени, позволяющих выделить относительно стабильные тенденции развития. Оно представляет собой специальную проблему, решение которой невозможно без изучения экономической конъюнктуры развития промышленности, изменения его отраслевой, «продуктовой» и технологической структуры. Это может быть иллю-

стрировано следующими показателями по ряду отраслей хозяйства СССР (табл. 2-2).

Таблица 2-2

Изменение коэффициента эластичности между темпами роста электровооруженности и производительности труда в СССР¹

Показатели	Периоды			
	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970
Ежегодные темпы роста электровооруженности труда, %:				
в целом по народному хозяйству	12,2	9,6	10,4	6,4
в промышленности	7,9	5,6	6,9	5,0
в сельском хозяйстве	22,6	33,3	19,0	16,2
на транспорте и в связи	8,35	15,2	12,9	7,45
На 1% прироста электровооруженности труда приходится роста производительности труда, %:				
в целом по народному хозяйству	0,79	0,74	0,49	1,04
в промышленности	1,05	1,18	0,64	1,18
в сельском хозяйстве	0,30	0,24	0,18	0,40
на транспорте и в связи	0,90	0,7	0,3	1,03

¹ Костин А. А. Производительность труда и технический прогресс. М., «Экономика», 1974. 176 с.

В отраслях, где электроэнергия вытесняет в основном живой труд (сельское хозяйство), имеют место опережающие темпы роста электровооруженности труда над его производительностью.

Если обозначить через $\mathcal{E}$ — потребление электроэнергии, Π — продукцию и P — количество трудящихся, то при уменьшении P на значение ΔP за счет роста $\mathcal{E}$ и $\Delta \mathcal{E}$ получим, что

$$\frac{\mathcal{E} + \Delta \mathcal{E}}{P - \Delta P} \bigg/ \frac{\mathcal{E}}{P} > \frac{\Pi}{P - \Delta P} \bigg/ \frac{\Pi}{P}.$$

В других отраслях соотношения складываются под воздействием значительно большего числа факторов и требуют специального анализа. Результаты одной из попыток такого анализа [см. Л. 39] применительно к странам приведены ниже. При этом темпы роста промышленного производства были сгруппированы следующим образом: спад (отрицательные темпы); ни з-

кие (до 3% включительно); средние (3—6%); высокие (6—12%); очень высокие (более 12% в год). За период 1951—1968 гг. группировка стран по указанным темпам роста получилась следующая (по числу лет):

Темпы роста	СССР	США	ФРГ	Япония	Италия
Спад	—	2	1	1	—
Низкие	—	4	2	—	1
Средние	—	4	4	1	3
Высокие	16	7	9	5	12
Очень высокие	2	1	2	11	2
Всего лет	18	18	18	18	18

Для этих стран были характерны следующие коэффициенты эластичности между электроэнергетикой и развитием промышленного производства:

Темпы роста	СССР	США	ФРГ	Япония	Италия
Спад	—	—1,17	—3,46	—2,0	—
Низкие	—	4,34	1,68	—	4,75
Средние	—	1,94	1,87	1,59	1,55
Высокие	1,15	1,06	0,92	1,10	0,86
Очень высокие	0,89	1,01	0,65	0,87	1,13

Из приведенных данных авторы расчетов делают следующие выводы:

1) даже в годы промышленного спада имеет место рост производства электроэнергии, на что указывают отрицательные коэффициенты эластичности;

2) с повышением темпов экономического роста коэффициент опережения выработки электроэнергии над промышленным производством снижается и при очень высоких темпах становится меньше единицы. Этот факт можно объяснить тем, что очень высокие темпы развития промышленности достигаются возможно не только за счет интенсивных, но и в значительной мере за счет экстенсивных факторов, в том числе за счет увеличения числа рабочих мест, не связанного с повышением уровня электровооруженности труда.

Нами была сделана попытка определить связь между коэффициентом опережения роста потребления электроэнергии (в целом и в промышленности) над ростом промышленной продукции и темпом прироста производительности труда в промышленности. Предполагалось, что между этими показателями существует корреляци-

онная зависимость, также выражающая влияние электрификации на темпы прироста производительности труда. Поле соответствующих точек, приведенное на рис. 2-2 и 2-3, показывает, что для рассматриваемого периода времени (1961—1970 гг.) и группы стран эта зависимость может быть описана уравнением нелинейного вида (гиперболой) с показателем тесноты связи,

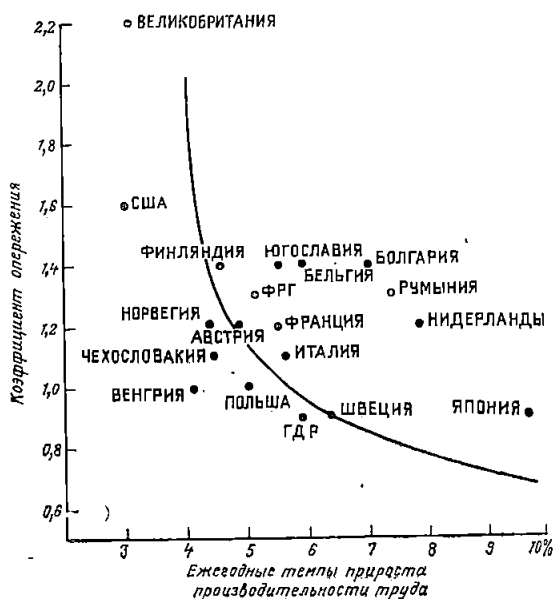


Рис. 2-2. Зона зависимости между темпами прироста производительности труда в промышленности и коэффициентом опережения темпов роста валовой выработки электроэнергии относительно темпов роста промышленной продукции за 1961—1970 гг.

равным 0,6. При изображении приведенных на рис. 2-2 и 2-3 зависимостей уравнением линейного вида получается низкий коэффициент корреляции, равный 0,38.

Из рисунков четко следует, что в ряде стран высокие ежегодные темпы прироста производительности труда в промышленности обеспечивались при коэффициентах опережения роста потребления электроэнергии, меньших единицы. Объяснение причин этого положения требует, по-видимому, специального исследования особенностей.

экономического развития отдельных стран в рассматриваемый период.

В промышленности СССР в разных отраслях соотношения между электровооруженностью и производительностью труда складываются по-разному. Могут быть выделены отрасли, где электроемкость продукции устойчиво возрастает, и отрасли с преобладанием тенденции к снижению электроемкости.

Примером отрасли с повышающейся электроемкостью продукции может служить угледобывающая, где

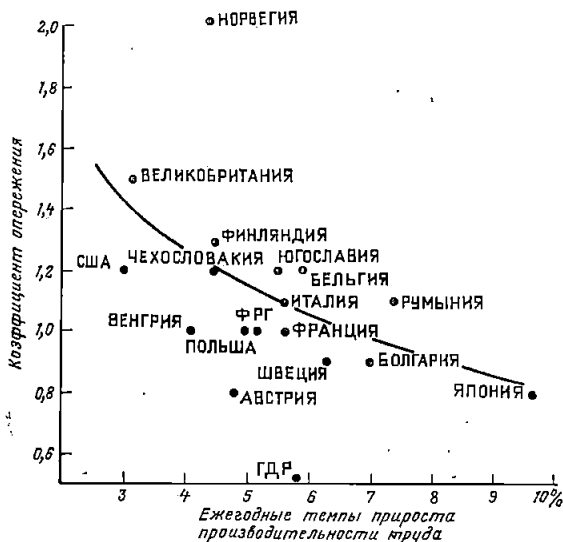


Рис. 2-3. Зона зависимости между темпами прироста производительности труда в промышленности и коэффициентом опережения темпов роста промышленного потребления электроэнергии относительно темпов роста промышленной продукции за 1961—1970 гг.

рост электроемкости был связан с ухудшением природных условий разработки и ростом механизации, а также с автоматизацией добычи угля (табл. 2-3).

В черной металлургии основным действующим во всех странах фактором повышения электроемкости является изменение структуры производства — опережающий рост выплавки электростали, усложнение профилей проката, а также внедрение термообработки металла на базе электроэнергии.

**Электровооруженность и производительность труда
в угольной промышленности¹**

Годы	Электровооруженность в расчете на одного работающего, тыс.кВт·ч	Индекс роста электровооруженности труда	Индекс роста производительности труда	Коэффициент опережения
1940	4,7	100	100	1,0
1950	5,3	112	98	1,14
1955	7,9	168	...	...
1960	10,6	225	135	1,65
1965	15,6	332	164	2,0
1970	20,1	430	192	2,7
1975	41,0	873	...	...
(план)				

¹ Полещук Н. Г. Энерговооруженность и производительность труда. М., «Экономика», 1973. 106 с.

Для химической промышленности на современном этапе характерно снижение электроемкости производства. Это определяется всевозрастающим комбинированием процессов в производстве химических волокон, когда многие смежные стадии обработки материалов протекают как один процесс. В результате повышение производительности труда сопровождается одновременно значительной экономией электроэнергии. В том же направлении действует укрупнение агрегатов, происходящее в химической промышленности особенно быстрыми темпами. Важным фактором снижения электроемкости в химии является также создание новых технологий с использованием тепла экзотермических реакций. Так, новая технология производства азотной кислоты (включая получение аммиака), разработанная в СССР и за рубежом, характеризуется расходами электроэнергии в размере 50—150 кВт·ч на 1 т аммиака против 1200—2000 кВт·ч, которые требовались для получения этого продукта пиролизом природного газа или путем выделения его из коксового газа методом глубокого охлаждения.

Общим для многих отраслей фактором повышения электроемкости является все расширяющееся использование электроэнергии для улучшения условий труда (освещение, вентиляция, а в ряде отраслей машино-

строения, химии и легкой промышленности также кондиционирование воздуха).

Для оценки того, как сказались структурные сдвиги на уровень и динамику электроемкости промышленной продукции за период с 1951 по 1970 г., был сделан условный пересчет отраслевой структуры промышленности 1970 г. по структуре 1950 г.

Этот перерасчет делался по пяти отраслям: черной металлургии, машиностроению и металлообработке, химической и нефтехимической промышленности, легкой и пищевой промышленности. Доля этих пяти отраслей во всей промышленности выражалась следующими значениями¹, %:

	1950 г.	1970 г.
По численности промышленно-производственного персонала	64	72
По потреблению электроэнергии	54	47
Отношение производительности труда в пяти отраслях к производительности труда во всей промышленности	129	100
Отношение электровооруженности труда в пяти отраслях к электровооруженности труда во всей промышленности	100	65
Отношение электроемкости продукции пяти отраслей к электроемкости всей продукции промышленности	65	65

Расчеты показали, что за рассматриваемый период в структуре промышленного производства СССР произошли сдвиги: резко повысился удельный вес машиностроения и металлообработки (с 14,3%, в продукции пяти отраслей в 1950 г. до 31% в 1970 г.), химии и нефтехимии (с 3,3 до 7,5%), доля легкой и пищевой промышленности при этом несколько снизилась.

Динамика электроемкости отраслей характеризуется данными табл. 2-4, где для 1950 и 1970 гг. эта электроемкость выражена в процентах к средней электроемкости пяти рассматриваемых отраслей промышленности и показано изменение электроемкости за 20 лет по отношению к показателям 1950 г.

Как видно из табл. 2-4, частная (отраслевая) электроемкость существенно менялась за рассматриваемый период. В связи с этим был рассмотрен вариант динамики показателей по указанным пяти отраслям при условии сохранения электроемкости производства по каж-

¹ В подборе материалов принимала участие инженер Р. З. Омарбекова.

Таблица 2-4

**Электроёмкость отдельных отраслей промышленности
и ее динамика за 1950—1970 гг.***

Отрасль промышленности	Электроёмкость		Изменение электроёмкости в 1970 г., % к 1950 г.
	1950 г.	1970 г.	
Черная металлургия	260	340	142
Машиностроение и металлообра- ботка	250	90	39
Химия и нефтехимия	590	370	68
Легкая	27	26	105
Пищевая	22	26	129
Всего пять отраслей	100	100	109

* Пересчитано по статистическим сборникам „Народное хозяйство СССР“. М., „Статистика“ (издания 1950—1973 гг.).

дой из отраслей на уровне 1950 г. Это соответствует условию, когда электровооруженность труда возрастала бы с теми же темпами, что и его производительность. Результаты пересчета по пяти отраслям в целом приведены в табл. 2-5.

Таблица 2-5

**Основные показатели в целом по пяти отраслям
промышленности при различных условиях (% к 1950 г.)**

Показатели	1950 г. фактически	1970 г.			
		факти- чески	при сохранении на уровне 1950 г.		
			структуры и частной электроём- кости	струк- туры	частной электроём- кости
Валовая продукция	100	600	600	600	600
Производительность труда	100	258	320	320	258
Численность трудящихся	100	233	189	189	233
Электровооруженность труда	100	382	318	272	414
Потребление электроэнергии	100	656	600	515	962
Электроёмкость	100	109	100	86	160

Таким образом, увеличение потребления электро-
энергии исключительно за счет роста объема производ-

ства продукции в целом по пяти отраслям составляет 600%. Однако изменение структуры продукции (при неизменном значении частной электроемкости каждой из пяти отраслей) за счет увеличения доли химии и машиностроения, электроемкость которых в 1950 г. была выше средней, резко, более чем на 70%, увеличило бы прирост потребления электроэнергии. Вместе с тем тенденция падения значений частной электроемкости в машиностроении и химии, несмотря на рост электроемкости в других отраслях, в подавляющей степени компенсирует увеличение потребления электроэнергии и электроемкости за счет изменений отраслевой структуры промышленности. Эта «компенсация» составляет

$$\frac{(962 - 656) 100}{962 - 600} = 85\%.$$

Таким образом, результирующая противодействующих тенденций в период 1950—1970 гг. в целом действовала в сторону повышения коэффициента опережения и уровня электроемкости продукции.

В перспективе на электроемкость будут оказывать влияние две противоположные тенденции. Увеличение удельного веса электроемких производств ведет к увеличению степени опережения электровооруженности над производительностью труда. По нашим расчетам, около 40% всего прироста потребления электроэнергии в период 1961—1970 гг. может быть отнесено за счет более быстрых по сравнению с ростом всего промышленного производства, темпов увеличения выпуска электроемкой продукции с удельными расходами электроэнергии значительно выше средних по промышленности (3000 кВт·ч/т и более). К такой продукции принадлежат алюминий, магний, титан, никель, ферросплавы, медь электролитная, желтый фосфор, синтетический каучук, химические волокна, каустическая сода и т. д.

В противоположном направлении на соотношение роста электровооруженности и производительности труда и, следовательно, на электроемкость продукции в целом по промышленности действует систематическое увеличение удельного веса машиностроительной промышленности в общем производстве промышленной продукции, так как электроемкость на 1 руб. валовой продукции машиностроения сейчас примерно в 1,7 — 1,8 раза ниже электроемкости промышленной продукции в целом. Поэтому при опережающем развитии ма-

шиностроения замедляется рост электровооруженности труда в целом по промышленности. Расчеты показывают, что если бы удельный вес валовой продукции машиностроения в 1970 г. оставался на уровне 1960 г., то это привело бы к увеличению средней электровооруженности труда в промышленности СССР в 1970 г. примерно на 3% против фактической.

Представляется, что с учетом расширения сферы использования электроэнергии (для механизации ручных работ, термических процессов и т. д.) на обозримый период времени тенденция роста электроемкости может быть преобладающей. Поэтому не исключено устойчивое увеличение электроемкости промышленной продукции и национального дохода. Это увеличение, или, что то же самое, опережающий рост электровооруженности труда над его производительностью, будет отражать возрастание роли электроэнергии как энергоносителя, наиболее полно отвечающего перспективным требованиям развития общественного производства. Оно может иметь место несмотря на мероприятия по рационализации использования энергетических ресурсов. С повышением экономичности получения электроэнергии от АЭС и тем более новых установок (МГД-генераторов, термоядерного синтеза) конкурентоспособность электроэнергии возрастет и тенденция роста электроемкости будет достаточно очевидной.

Можно полагать, что в этих условиях и в условиях становления автоматизированного производства на основе широкого использования новых прогрессивных технологий опережающий рост электровооруженности труда и увеличение электроемкости продукции станут важным фактором повышения рассматриваемой в масштабах развития всего народного хозяйства производительности совокупного, т. е. живого и овеществленного, труда.

В связи с этим представляется ошибочным учет в электровооруженности труда только той электроэнергии, которая используется на силовые нужды [Л. 19, с. 334; Л. 20, с. 51—55]. Определение электровооруженности труда только как его «электросиловооруженности» по существу искажает экономическое значение этого показателя и игнорирует объективную связь между техническим прогрессом и электрификацией на современном этапе. Переход от непосредственного сило-

вого воздействия инструментами на предметы труда к другим видам обработки может привести в конечном счете к абсолютному и относительному сокращению расхода силовой энергии в промышленности. Следовательно, электросиловооруженность труда не только не будет увеличиваться, но может начать сокращаться. Понимание электровооруженности труда только как электросиловооруженности не учитывает глубокого технологического применения электроэнергии, в частности возможности ее использования как непосредственного агента производства в новых процессах, которая и будет предопределять в перспективе ускорение роста производительности труда. Поэтому под электровооруженностью труда следует понимать все количество электроэнергии, которым располагает работник в течение определенного периода времени независимо от сферы ее использования. Сюда включается электроэнергия, идущая на обслуживание санитарно-гигиенических процессов, поскольку она также является фактором повышения комфорта труда и, следовательно, влияет на рост его производительности. Это утверждение не означает, однако, что не имеет смысла деление электровооруженности труда на ее отдельные составляющие: электросиловооруженность, электротехнологовооруженность и т. д. Но такое деление уже относится к анализу структуры электровооруженности труда и необходимо для оценки активности влияния электроэнергии на технический уровень производства и рост производительности труда.

2.2. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОВООРУЖЕННОСТЬЮ ТРУДА И ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВА

Соотношение между уровнем электровооруженности труда и потенциальным уровнем автоматизации производства было исследовано Я. Б. Квашой на примере промышленности США [Л. 33, с. 117—125].

Поскольку автоматизированное производство — это непрерывное производство или производство, протекающее как единая непрерывная операция, его экономическим условием является массовый выпуск продукции, а техническим условием — «текучесть» предметов труда и конечного продукта. В тех производствах, где «теку-

честь» конечного продукта и исходных материалов ясно выражена или это свойство сообщено перерабатываемыми материалами в начале технологического процесса, успехи автоматизации наибольшие. По этим признакам Я. Б. Кваша предлагает следующую группировку¹:

I класс. Конечный продукт — газы, жидкости и сыпучие. Группы по исходному сырью: 1) газы, жидкости, сыпучие (добыча газа, нефти, нефтепереработка, производство аммиака, мукомольная и другие отрасли); 2) твердые несыпучие (кроме волокнистых материалов).

II класс. Конечный продукт — твердые несыпучие (кроме волокнистых материалов) с заданной формой. Исходное сырье: 3) газы, жидкости, сыпучие; 4) твердые несыпучие, кроме волокнистых материалов (каменноугольная, рудная, лесопильная, кирпичная промышленность и т. д.).

III класс. Конечный продукт и исходное сырье (5) волокнистые материалы (за исключением швейной и обувной отраслей).

IV класс. Конечный продукт — сборные изделия [машиностроение, мебельная промышленность и т. п. (6); швейная, обувная промышленность (7)].

Материалы ценза обрабатывающей промышленности США (за 1958 г.) позволили Я. Б. Кваше показать, как увеличивается электровооруженность труда в связи с автоматизацией производства (табл. 2-6). Аналогичные расчеты были проведены авторами по промышленности СССР по данным за 1973 г. При этом все отрасли промышленности были разбиты на группы в соответствии с классификацией табл. 2-6.

В отдельные группы были включены:

1 — электроэнергетика, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, производство цемента, дубильно-экстрактная промышленность, спиртовая промышленность;

2 — промышленность основной химии (содовая, сернокислотная), сажевая промышленность, производство бетона, сахарная, мукомольная и крахмало-паточная промышленность, маслосыродельная и молочная промышленность;

3 — производство синтетических смол и пластмасс, производство химволокна, каучука и других продуктов органического синтеза, хлебопекарная, макаронная и маслосемяно-жировая промышленность;

4 — добыча и переработка угля, сланца и торфа, черная и цветная металлургия, производство изделий из полимеров, резино-

¹ Понятие класса введено нами. (Прим. авт.).

Таблица 2-6

**Технико-экономические характеристики отраслей
обрабатывающей промышленности США (1958 г.)**

Классы	Группы	Занятые, %	Основной капитал (балансовая стоимость в ценах приобретения), %	Стоимость, добавленная обработкой, %	Выработка в год на одного рабочего		Электровооруженность труда	
					тыс. долл.	%*	кВт·ч чел·ч	%*
I	1	9,2	24,3	15,2	24,3	201	72,4	514
	2	0,7	2,4	1,1	21,1	174	11,4	81
Итого		9,9	26,7	16,3	24,1	199	67,6	480
II	3	12,7	19,3	13,8	13,0	107	27,1	192
	4	16,9	17,5	16,1	10,9	90	12,1	86
Итого		29,6	36,8	29,9	11,7	97	18,3	130
III	5	6,8	5,2	4,8	7,2	59	7,7	55
	6	36,5	25,7	36,2	12,5	103	4,6	33
IV	7	10,7	3,8	6,3	6,2	51	1,5	11
Итого		47,2	29,5	42,5	10,9	90	3,9	28
Нераспределенные отрасли		6,5	1,8	6,5	—	—	—	—
Всего		100	100	100	12,1	100	14,1	100

* За 100% приняты показатели, средние для всей промышленности в целом.

асбестовая промышленность, неметаллорудная промышленность, лесная, деревообрабатывающая и деревоперерабатывающая промышленность, производство стеновых материалов, кондитерская, плодоовощная, чайная, мясная и рыбная промышленность;

5 — текстильная промышленность;

6 — машиностроение и металлообработка, мебельная промышленность, промышленность железобетонных изделий и т. п.;

7 — швейная, кожевенная, меховая и обувная промышленность.

По этим группам и соответствующим классам производств были получены показатели производительности труда, электровооруженности труда по энергии и электроемкости продукции. Эти показатели в процентах по отношению к средним показателям по всей промышленности, принятым за 100%, приведены в табл. 2-7.

Как видно из табл. 2-6 и 2-7, высокий уровень электровооруженности труда характерен для производств I и II классов с высокой степенью автоматизации. Рост производительности труда в автоматизированном про-

Технико-экономические характеристики отраслей
промышленности СССР, сгруппированных по
возможностям автоматизации производства, %

Классы	Группы	Выработка на одного рабочего	Электровоору- женность тру- да	Электроемкость продукции
I	1	239	454	189
Итого	2	206	240	116
II	3	222	345	155
Итого	4	142	106	74
III	5	110	156	140
IV	6	114	151	132
Итого	7	169	37	21
Итого	8	65	53	80
Итого	9	70	7	10
Итого	10	67	45	68
Всего промышленность	11	100	100	100

изводстве приводит к увеличению его электровооруженности даже в случае, если электроемкость продукции в результате автоматизации производства не увеличивается. Если $\mathcal{E}/P = \text{const}$, то $\mathcal{E}$ увеличивается пропорционально P , а P/P и $\mathcal{E}/P$ возрастают либо с ростом P , либо с уменьшением P (здесь $\mathcal{E}$ — потребление электроэнергии, P — продукция, R — численность занятых или рабочих, $\mathcal{E}/P$ — электроемкость продукции, P/P — производительность труда, $\mathcal{E}/P$ — его электровооруженность).

Как правило, с ростом уровня автоматизации электровооруженность труда растет значительно быстрее, чем его производительность. Можно полагать, что этот рост является одной из предпосылок и в то же время следствием автоматизации. Он определяется, очевидно, следующим: широким использованием электроэнергии в технологических процессах, обеспечивающих их «встраивание» в общий технологический поток; применением электроэнергии в процессах межоперационного транспорта продукции; широкой механизацией и автоматизацией вспомогательных процессов.

Вместе с тем автоматическое регулирование производственных процессов действует в сторону снижения расходов электроэнергии, однако эта составляющая в большинстве случаев не может компенсировать увели-

Технико-экономические показатели промышленных предприятий разного уровня концентрации производства*, %

Предприятия с объемом производства, тыс.руб.	Исходные показатели					Производные показатели**				
	Число пред- приятий	Валовая про- дукция П _в	Промыш- ленно-про- изводст- венный пер- сонал Р _{п.п}	Основные производ- ственные фонды Ф _о	Потребле- ние элект- роэнергии Э	Произво- дительно- сть труда $\frac{П}{Р_{п.п}}$	Электровоо- руженность труда $\frac{Э}{Р_{п.п}}$	Фондовоо- руженность труда $\frac{Ф_о}{Р_{п.п}}$	Электро- оснащен- ность фон- дов $\frac{Э}{Ф_о}$	Электроем- ность про- дукции $\frac{Э}{П}$
До 500	25,9	0,9	2,7	1,5	0,5	33	18	56	33	56
501—5000	52,1	16,6	26,8	17,7	9,3	62	35	66	53	56
5001—10 000	10,3	11,7	14,6	12,5	7,6	80	52	85	61	65
10 001—50 000	9,7	33,1	31,2	29,8	28,2	106	90	90	94	85
50 001—100 000	1,3	14,3	11,0	14,1	18,3	130	166	128	130	128
100 001 и выше	0,7	23,4	13,7	24,4	36,1	171	264	178	158	154
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* Рассчитано по статистическому сборнику "Народное хозяйство СССР в 1969 г.". М., "Статистика", 1970, с. 180.
 ** Здесь за 100% приняты средние по промышленности в целом показатели.

чения электроемкости продукции в связи с автоматизацией.

По данным группировок промышленных предприятий, состоящих на самостоятельном балансе (без электростанций, электрических и тепловых сетей), авторами рассчитаны показатели производительности и электровооруженности труда в электроемкости продукции в зависимости от уровня концентрации производства, выраженного величиной производимой валовой продукции (табл. 2-8). Эти показатели свидетельствуют о высоком уровне концентрации промышленного производства в СССР. Так, 2% общего числа предприятий производили около 40%, всей промышленной продукции страны; они сосредоточивали у себя около 40% производственных фондов и 25% промышленно-производственного персонала. На этих предприятиях потреблялось почти 55% всей электроэнергии, идущей на нужды промышленного производства.

С ростом концентрации промышленности закономерно увеличивается производительность труда и в еще большей степени его электровооруженность. Электроемкость продукции также возрастает, что отражает высокий уровень электрификации производства на крупных предприятиях. Только на крупных предприятиях с производством промышленной продукции от 50 млн. руб. в год и выше электровооруженность труда превосходила среднюю по стране. В подавляющем большинстве (у 98% всего числа промышленных предприятий) электровооруженность была ниже средней. Следовательно, крупные технически наиболее оснащенные предприятия в значительной мере формируют общий уровень электровооруженности и производительности труда в промышленности СССР.

Связь между электровооруженностью труда и уровнем концентрации производства подтверждается из анализа другой группировки промышленных предприятий— по энергетической мощности, обслуживающей производственные процессы. Эта группировка на 1973 г. приведена в табл. 2-9. Здесь также по мере роста концентрации производства по мощности, обслуживающей производственный процесс, такие показатели, как электровооруженность труда и электроемкость продукции, увеличиваются. Особенно резко отличаются эти показатели от средних по промышленности в последней группе

Таблица 2-9

Группировка промышленных предприятий по энергетической мощности, обслуживающей производственный процесс*, %

	Показатели											
	Исходные						Производные					
	Число предприятий	Валовая продукция П	Среднегодовая численность промышленно-производственного персонала Р _п	Среднегодовая стоимость промышленных фондов Ф _о	Энергетическая мощность, обслуживающая производственный процесс, N _э	Потребление электроэнергии Э	Производительность труда $\frac{P_{п}}{H}$	Фондооборот $\frac{P_{п}}{F_{о}}$	Электрооснащенность фондов (по мощности) $\frac{F_{о}}{N_{э}}$	Электроёмкость продукции $\frac{H}{\Phi_{о}}$	Электродорожкаемость труда $\frac{P_{п}}{\Phi_{о}}$	Использование сверхтехнической мощности N _э
Предприятия с энергетической мощностью, кВт												
До 500	43,6	7,9	11,1	4,4	1,1	1,1	71	39	25	14	10	100
501—3000	30,9	18,4	17,3	9,8	6,4	4,0	106	57	66	22	23	62
3001—10 000	14,9	20,1	19,2	14,0	12,7	7,8	104	73	91	39	40	62
10 001—100 000	9,7	34,8	38,0	39,3	38,3	30,3	91	103	97	87	80	79
100 001 и выше	0,9	18,8	14,4	32,5	41,5	56,8	133	225	127	308	394	137
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* Рассчитано по статистическому сборнику "Народное хозяйство СССР в 1973 г." М., "Статистика", 1974, с. 246.

предприятий с энергетической мощностью 100 тыс. кВт и выше. Можно предположить, что эта группа в значительной мере состоит из предприятий химии и металлургии, дающих высокоэнергоемкую продукцию, а энергетическая мощность этих предприятий в большей степени представлена относительно дорогими электроаппаратами непрерывного и полунепрерывного действия (электрическими печами, электролизерами и т. д.). Об этом свидетельствуют высокий коэффициент использования электрической мощности в этой группе (почти в 1,4 раза выше, чем в среднем по промышленности), высокая фондовооруженность труда и фондоемкость продукции. Вместе с тем предприятия рассматриваемой

Таблица 2-10

Экономические показатели объектов птицеводства¹

Объекты птицеводства	Объем производства, тыс. кур несушек	Уровень автоматизации и механизации	Электровооруженность труда, кВт·ч/чел·ч	Производительность труда, тыс. яиц/чел·ч
Птичники с напольным и клеточным содержанием	1,5—5	Немеханизированные или частично механизированные	1—5	0,06
Птичники с клеточными батареями КБН-1	30	Механизированные	15	До 0,3
То же с электрифицированными, с автоматизированными клеточными батареями ОБН-1	15	Механизированные, частично автоматизированные	25	До 0,35
Электрифицированные цехи-автоматы	45—50 и более	Автоматизированные	До 250	До 0,6
Птицефабрики-автоматы	50—100 и более	Комплексная автоматизация	До 400	1,7

¹ Славин Р. М. Основные задачи и перспективы электрификации и автоматизации промышленного производства. — Научные труды по электрификации сельского хозяйства, 1974, т. 35.

группы по отношению к машиностроению, легкой и пищевой промышленности дают малоценную продукцию и мало выделяются по уровню производительности труда.

Аналогичные с промышленностью соотношения между электровооруженностью, производительностью труда и уровнем автоматизации и концентрации производства имеют место и в сельском хозяйстве (табл. 2-10).

Для исследования динамики энерго- и электроемкости производства весьма интересен был бы также анализ материалоемкости промышленности и национального дохода, т. е. оценка физических объемов предметов труда, в обработке которых участвуют электроэнергия и другие виды энергии. Очевидно, что снижение материалоемкости, миниатюризация продукции и изделий будут при прочих равных условиях уменьшать энерго- и электроемкость производимой конечной продукции.

Это свидетельствует о важности специального исследования факторов электроемкости, связанных с изменением вещественной структуры предметов труда. Однако для такого исследования необходима подготовка специальной и многосторонней информации по вещественно-материальному балансу отраслей народного хозяйства. Она должна включать показатели структуры основных исходных предметов труда, характеристики стадий их обработки и переработки, физические характеристики, отражающие степень обрабатываемости предметов труда.

Рассмотренные выше соотношения, хотя и характеризуют известную зависимость между электрификацией и некоторыми другими факторами экономического роста, однако не позволяют представить эти факторы в их количественной совокупности взаимосвязи.

Выявление такой взаимосвязи в принципе возможно, если бы удалось представить электрификацию в качестве самостоятельного элемента модели экономического роста.

Однако на пути решения этой задачи стоят большие трудности.

Как известно, суть моделей экономического роста состоит в установлении количественных связей между объемом и динамикой производства (валового продукта, конечного продукта, национального дохода) и объемом и динамикой производственных ресурсов, причем причинно-следственные связи между продукцией и факторами производства устанавливаются вне модели — в результате как теоретического, так и фактического анализа реальных процессов. Уже в этом условии содержатся существенные препятствия к решению нашей задачи: причинно-следственные связи в противоположность эмпирическим статистическим соотношениям меж-

ду показателями электрификации (например, потреблением электроэнергии) как фактором роста и объемом производства изучены недостаточно, а их количественная оценка затруднена. Сложность заключается также и в том, что, как уже упоминалось, электрификация, действуя через другие факторы роста и обуславливая во многом их силу, выглядит внешне экзогенно по отношению к последним.

Как известно, простейшие производственные функции типа $Y_t = A_t X_{1,t}^\alpha X_{2,t}^\beta$ [где Y — физический объем производства конечного продукта (национального дохода)], учитывают в качестве изменяющихся во времени t факторов роста только такие глобальные факторы, как производственные фонды X_1 и затраты труда в сфере материального производства X_2 . При этом параметры $\alpha > 0$ и $\beta > 0$.

Если $\alpha + \beta = 1$, это означает, что при росте факторов производства в n раз выпуск продукции увеличивается пропорционально, а суммарная экономическая эффективность факторов остается неизменной.

Если $\alpha + \beta < 1$, выпуск продукции увеличивается медленнее по сравнению с ростом затрат факторов производства, происходит деинтенсификация экономического роста.

Если $\alpha + \beta > 1$, то рост продукции идет быстрее роста затрат факторов производства. Этот тип расширения производства означает рост эффективности совокупных затрат. Современной развитой социалистической экономике должен соответствовать именно этот случай [Л. 5, с. 207].

В последнее время, однако, в число аргументов такого рода функций пытаются также включить конечное потребление энергии, которое, по мнению авторов этих функций, также является важным производственным фактором [Л. 6].

Математические модели, содержащие в качестве аргумента показатели электрификации, уже весьма широко используются. Однако они чаще всего являются вспомогательными, так как в качестве функции выступает объем производства, а один из факторов роста.

Примером такой модели может быть уравнение множественной регрессии вида

$$y = ax_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot x_3^{\alpha_3} \cdot x_4^{\alpha_4},$$

где y — рост производительности, а $x_1 \div x_4$ — факторы роста, а именно: x_1 — темп роста электровооруженности труда; x_2 — темп роста коэффициента использования рабочего времени; x_3 — относительная оценка структуры промышленно-производственного персонала при увеличении объема производства; x_4 — относительная оценка изменения отраслевой структуры производства.

В результате расчетов по этой модели в НИЭИ Госплана СССР была получена зависимость:

$$y = 0,00005966 x_1^{-0,2692} \cdot x_2^{1,6947} \cdot x_3^{1,2085} \cdot x_4^{0,4867}.$$

Здесь мы обнаруживаем один из парадоксов экономических моделей такого рода: в сочетании с другими факторами роста увеличение параметра x_1 , т. е. электровооруженности труда, при стабилизации других параметров приводит к сокращению производительности труда (!), что противоречит экономическому смыслу. Экономическое несоответствие возникло в результате того, что при определении коэффициентов был применен метод наименьших квадратов. Вследствие так называемой ложной мультиколлинеарности рассматриваемых факторов этот метод для данного уравнения оказался неприемлемым. Поэтому, будучи пригодными и для прогнозирования значения y , такие модели не могут использоваться для проведения поэлементного анализа. Для определения коэффициентов необходимо было применять другие методы. Все это заставляет чрезвычайно осторожно относиться к использованию функций такого рода для наших целей.

Попытка построить производственную функцию с факторами экономического роста в виде показателей электрификации сделана также в работе Уральского научного центра АН СССР [Л. 102]. Здесь авторы получают «производственную функцию промышленной электропотребляющей системы»:

$$e = \mathcal{E}_\phi^{\alpha} \mathcal{E}_\tau^{\beta},$$

где e — электроемкость продукции, $\mathcal{E}_\phi$ — электрооснащенность фондов, $\mathcal{E}_\tau$ — электровооруженность труда.

В этой функции параметры α и β представляют собой отношение темпов прироста электроемкости про-

дукции соответственно к темпу прироста электроемкости основных фондов и электровооруженности труда, т. е. α и β — частные эластичности электроемкости от факторов ее роста. Они показывают, на сколько процентов изменяется e при увеличении на 1% одного из независимых факторов и стабилизации другого.

На основании анализа этой функции и промежуточных соотношений авторы упомянутой работы пытаются, в частности, установить закономерности динамики электроемкости в зависимости от стадий технического прогресса. Утверждается, что на первой стадии электрификации машинного производства, когда происходила замена ручного труда электроэнергией, фондоотдача снижалась, а электроемкость производства росла. На втором этапе, когда происходит интенсивная замена менее прогрессивного оборудования более прогрессивным и когда создаются условия для роста фондоотдачи, процесс углубления электрификации стабилизируется и электроемкость падает [Л. 102, с. 22—23]. Из этих утверждений следует, что при преобладающем на перспективу фондоэкономном типе технического прогресса электроемкость промышленности будет иметь тенденцию к снижению.

Признавая справедливым соображение о тесной связи между фондовооруженностью труда и электроемкостью продукции, следует сказать, что такой вывод был бы ошибочным. Он не учитывает возможностей опережающего роста электрооснащенности фондов в период ускорения технического прогресса и существенных сдвигов в технологической структуре производства в СССР. Поэтому правильно будет считать, что в целом при фондоемком и нейтральном типе технического прогресса электроемкость производства будет расти, а при фондоэкономном типе может либо расти, либо снижаться в зависимости от структуры технологий и доли в них электротехнических процессов.

Поскольку увеличение основных производственных фондов является важнейшим синтетическим фактором экономического роста, рассмотрение зависимостей между показателями фондовооруженности труда, с одной стороны, и показателями производительности труда и электрификации производства — с другой приобретает особое значение, существенно дополняя анализ других взаимосвязей. Из табл. 2-8 видно, что тесная связь су-

ществует между показателями фондовооруженности и производительности труда, между показателями электрооснащенности фондов и электроемкости продукции (для предприятий с одинаковым уровнем концентрации производства).

Прирост электровооруженности увеличивается с ростом фондов. Если в промышленности в последние годы на 1 руб. прироста фондов прирост электропотребления в среднем составляет 2—2,5 кВт·ч, а в фондоемких и электроемких отраслях до 10 кВт·ч, то в сельском хозяйстве прирост электропотребления составляет 0,3—0,6 кВт·ч — в зависимости от структуры производства и уровня вооруженности его фондами. Однако приведенные данные показывают лишь статистическое соотношение между показателями. Для оценки этого соотношения в динамике нами был проведен расчет коэффициентов эластичности темпов роста электровооруженности труда с выделением электросиловооруженности труда, фондовооруженности и производительности труда. Расчет выполнен на основании исходных данных табл. 2-10, а также по соответствующим данным о некоторых ведущих отраслях промышленности. Результаты расчета приведены в табл. 2-11 и 2-12* и показывают, что за период 1950—1970 гг., фондовооруженность труда имела высокий коэффициент эластичности с электровооруженностью труда, а электросиловооруженность труда — с его производительностью. Это означает, что производительность труда определялась в конечном счете двумя факторами: электровооруженностью силовых процессов, оказывающей влияние на механизацию живого труда, и фондовооруженностью, действующей на увеличение совокупной производительности труда. При этом фондовооруженность труда практически на всем протяжении рассматриваемого периода росла более медленными темпами, чем электротехнологическая вооруженность труда. Отсюда можно сделать предварительный вывод, что рост электротехнологической вооруженности труда в промышленности до 1965 г. посредством роста фондовооруженности также воздействовал на увеличение производительности труда. Это предположение подтверждается наиболее высоким в среднем за 20 лет коэффициентом эластичности меж-

* При анализе использованы материалы, любезно предоставленные нам д-ром эконом. наук Е. О. Штейнгаузом.

Основные показатели промышленности СССР

Показатели	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1974 г.	Индекс				
							1955	1960	1965	1970	1974
Исходные											
1. Валовая продукция ¹ , млрд. руб.	54,3	101,4	164	248,6	374,3	496,0	185	304	458	689	915
2. Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч	65,2	123,6	207,5	349,4	488,4	620,7	190	317	537	748	953
3. Численность промышленно-производственного персонала, млн. чел.	15,3	19,0	22,6	27,4	31,6	33,4	124	148	180	207	218
4. Промышленно-производственные фонды, млрд.руб.	29	55	89	150	228	312	186	302	508	773	1082
Производные											
Производительность труда (1:3), тыс. руб/чел	3,54	5,29	7,25	9,06	11,84	14,9	149	204	256	334	423
Электрооборуженность труда (2:3), тыс. кВт·ч/чел	4,26	6,51	9,16	12,73	15,44	18,6	153	215	299	362	437

Продолжение табл. 2-11

Показатели	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1974 г.	Индекс			
							1955	1960	1965	1974
Электровооруженность рабочего, кВт·ч/чел	5,7	Нет данных	11,1	15,4	19,5	24,0	Нет данных	195	270	352
Электроемкость продукции (2:1), кВт·ч/руб	1,2	1,23	1,26	1,41	1,31	1,25	103	105	118	104
Электрооснащенность фондов (2:4), кВт·ч/руб	2,21	2,25	2,33	2,33	2,14	1,98	102	105	105	89
Фондовооруженность труда (4:3), руб/чел	1,93	2,89	3,93	5,47	7,22	9,4	150	204	283	487
Фондоёмкость (4:1), руб/руб	0,54	0,55	0,54	0,6	0,61	0,63	102	100	111	117
Фондоотдача (1:4), руб/руб	1,85	1,83	1,85	1,67	1,64	1,58	99	100	90	85

* В ценах 1937 г., вычислено по индексам роста, приведенным в статистических ежегодниках Народного хозяйства СССР. М., Статистика изданий 1961—1974 гг.).

а Показатели 1950 года приняты равными 100.

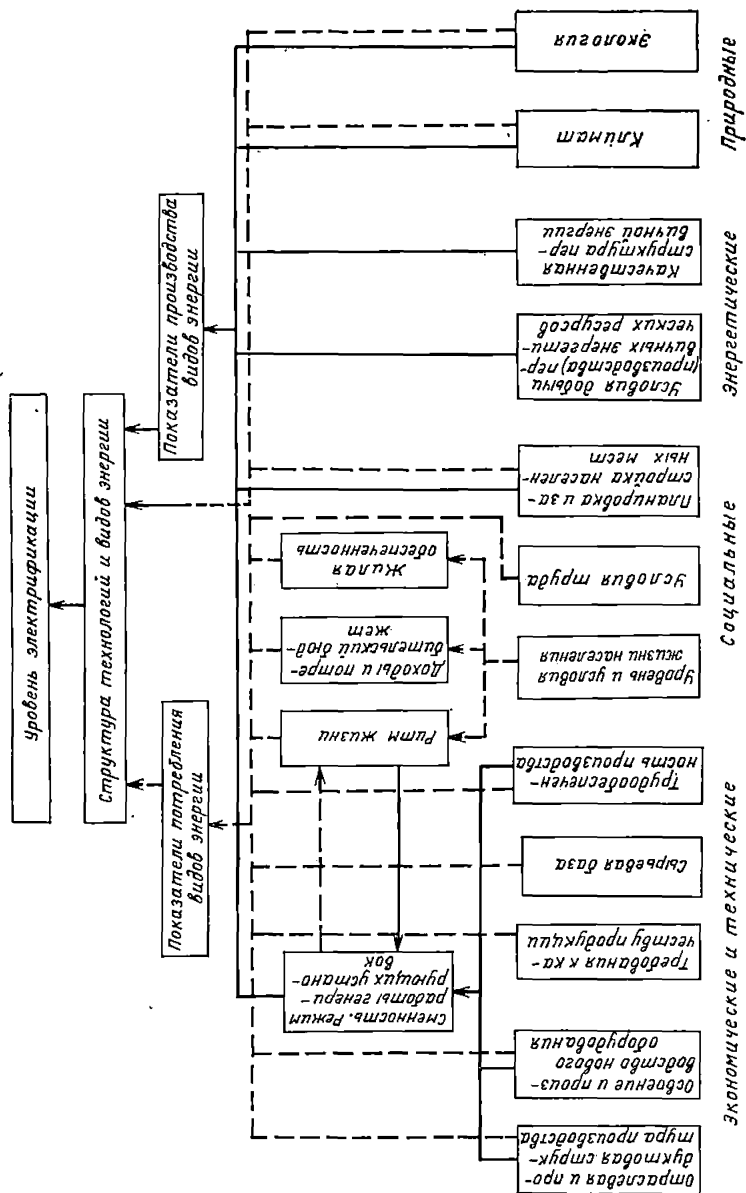
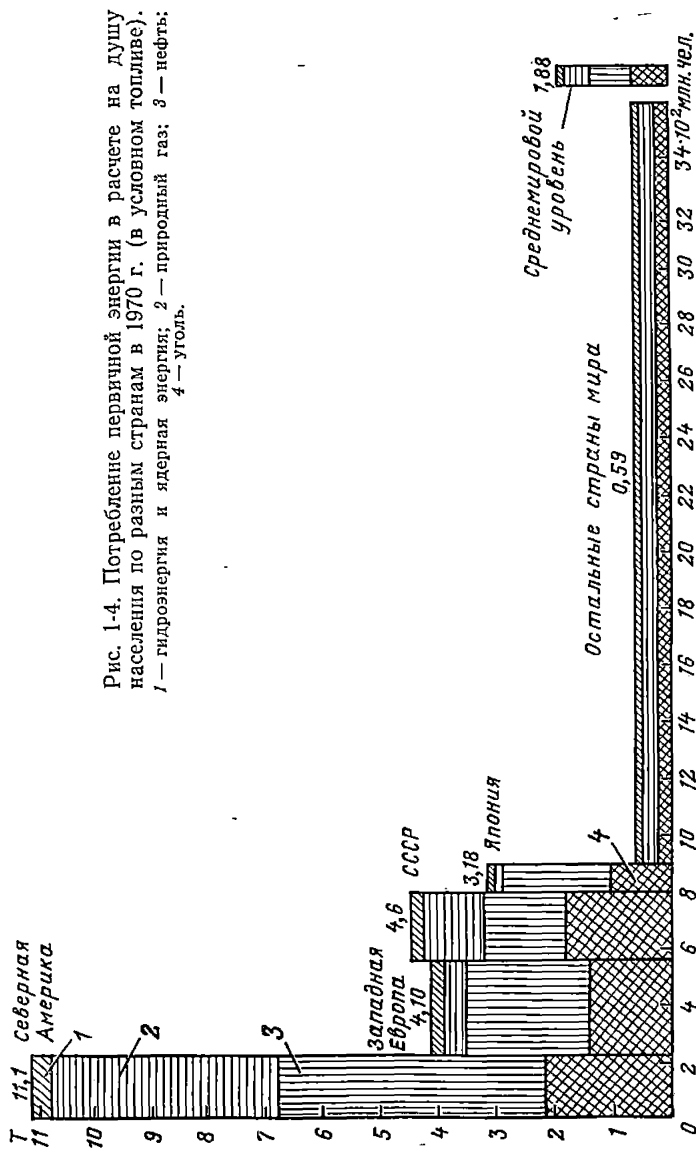


Рис. В-1. Факторы, определяющие уровень электрификации (упрощенная схема).
 — факторы, определяющие показатели производства энергоносителей; --- то же для потребления энергоносителей.

Таблица 1-1
Энергетические показатели СССР, некоторых капиталистических стран и мира в 1974 г.*

Показатели	СССР	США	Великобритания	Франция	ФРГ	Япония	Мир
Производство электроэнергии (валовое), млрд. кВт·ч	976,0	2060,0	274,0	188,0	305,0	462,0	6300
Производство электроэнергии (отпуск с шин), млрд. кВт·ч	910,0	1950,0	254,0	180,0	292,0	446,0	...
Потребление электроэнергии в промышленности (с учетом расхода на собственные нужды электростанций), млрд. кВт·ч	621,0	820,0	118,0	113,0	172,0	272,0	...
Производство коммерческих энергоресурсов, млн. т. условного топлива 1973 г.)	1410,5	2152,5	174,5	48,6	172,0	38,5	8485
В том числе:							
уголь**	499,6	524,5	131,5	27,8	133,2	22,4	2440
нефть	613,5	763,3	0,5	3,1	9,8	1,2	4217
природный газ	282,4	819,6	38,4	10,0	25,7	3,9	1639
гидро- и атомная энергия	15,0	45,1	4,1	7,7	3,4	11,0	189
Потребление коммерческих энергоресурсов, млн. т условного топлива (1973 г.)	1307,3	2503,2	313,2	234,3	371,0	426,0	7885
В том числе:							
уголь		508,2	130,4	44,3	121,8	80,7	2484
нефть		1109,1	139,1	161,0	198,7	326,6	3593
природный газ		839,0	39,6	21,8	46,1	7,8	1618
гидро-и атомная энергия		46,9	4,1	7,3	4,7	11,0	189



Технико-экономические показатели промышленных предприятий разного уровня концентрации производства*, %

Предприятия с объемом производства, тыс.руб.	Исходные показатели					Производные показатели**				
	Число пред- приятий	Валовая про- дукция П	Промыш- ленно-про- изводст- венный пер- сонал Р _{п.п}	Основные производ- ственные фонды Ф _о	Потребле- ние элект- роэнергии Э	Произво- дительно- сть труда $\frac{П}{Р_{п.п}}$	Электровоо- руженность труда $\frac{Э}{Р_{п.п}}$	Фондовоо- руженность труда $\frac{Ф_о}{Р_{п.п}}$	Электро- оснащен- ность фон- дов $\frac{Э}{Ф_о}$	Электроем- ность про- дукции $\frac{Э}{П}$
До 500	25,9	0,9	2,7	1,5	0,5	33	18	56	33	56
501—5000	52,1	16,6	26,8	17,7	9,3	62	35	66	53	56
5001—10 000	10,3	11,7	14,6	12,5	7,6	80	52	85	61	65
10 001—50 000	9,7	33,1	31,2	29,8	28,2	106	90	90	94	85
50 001—100 000	1,3	14,3	11,0	14,1	18,3	130	166	128	130	128
100 001 и выше	0,7	23,4	13,7	24,4	36,1	171	264	178	158	154
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* Рассчитано по статистическому сборнику "Народное хозяйство СССР в 1969 г.". М., "Статистика", 1970, с. 180.
 ** Здесь за 100% приняты средние по промышленности в целом показатели.

Таблица 2-9

Группировка промышленных предприятий по энергетической мощности, обслуживающей производственный процесс*, %

Показатели	Производные											
	Исходные						Производные					
	Число предприятий	Валовая продукция П	Среднегодовая численность промышленно-производственного персонала Р _п	Среднегодовая стоимость промышленности-производственных фондов Ф _о	Энергетическая мощность, обслуживающая производственный процесс, N _э	Потребление электроэнергии Э	Производительность труда $\frac{P_{п}}{H}$	Фондоотруженность труда $\frac{F_{о}}{P_{п}}$	Электрооснащенность фондов (по мощности) $\frac{F_{о}}{N_{э}}$	Электроемкость продукции $\frac{H}{\Phi_{о}}$	Электроворуженность труда $\frac{P_{п}}{\Phi_{о}}$	Использование сверхтехнической мощности $N_{э}$
Предприятия с энергетической мощностью, кВт												
До 500	43,6	7,9	11,1	4,4	1,1	1,1	71	39	25	14	10	100
501—3000	30,9	18,4	17,3	9,8	6,4	4,0	106	57	66	22	23	62
3001—10 000	14,9	20,1	19,2	14,0	12,7	7,8	104	73	91	39	40	62
10 001—100 000	9,7	34,8	38,0	39,3	38,3	30,3	91	103	97	87	80	79
100 001 и выше	0,9	18,8	14,4	32,5	41,5	56,8	133	225	127	308	394	137
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* Рассчитано по статистическому сборнику "Народное хозяйство СССР в 1973 г." М., "Статистика", 1974, с. 246.

Основные показатели промышленности СССР

Показатели	1950 г.	1955 г.	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1974 г.	Индекс				
							1955	1960	1965	1970	1974
Исходные											
1. Валовая продукция ¹ , млрд. руб.	54,3	101,4	164	248,6	374,3	496,0	185	304	458	689	915
2. Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч	65,2	123,6	207,5	349,4	488,4	620,7	190	317	537	748	953
3. Численность промышленно-производственного персонала, млн. чел.	15,3	19,0	22,6	27,4	31,6	33,4	124	148	180	207	218
4. Промышленно-производственные фонды, млрд.руб.	29	55	89	150	228	312	186	302	508	773	1082
Производные											
Производительность труда (1:3), тыс. руб/чел	3,54	5,29	7,25	9,06	11,84	14,9	149	204	256	334	423
Электрооборуженность труда (2:3), тыс. кВт·ч/чел	4,26	6,51	9,16	12,73	15,44	18,6	153	215	299	362	437

Коэффициенты эластичности между среднегодовыми темпами роста электровооруженности труда и темпами роста производительности и фондоемкости производства в промышленности СССР

Показатели эластичности	Промышленности в целом					По отраслям за 1951—1970 гг.				
	Всего за 1951—1970 гг.	в том числе по пятилетиям				Черная металлургия	Машиностроение и металлообработка	Химия и нефтехимия	Легкая промышленность	Пищевая промышленность
		1951—1955 гг.	1956—1960 гг.	1961—1965 гг.	1966—1970 гг.					
Электровооруженность труда к производительности труда	1,07	1,07	1,09	1,49	0,7	1,38	0,38	0,72	1,04	1,27
Электросиловооруженность труда к производительности труда	1,015	0,93	1,09	1,47	0,7	—	—	—	—	—
Фондоемкость к производительности труда	1,1	1,015	0,98	1,49	1,03	1,48	0,8	0,96	1,64	1,51
Фондоемкость труда к электровооруженности труда	1,02	0,95	0,89	1,00	1,46	1,09	2,08	1,34	1,58	1,23
Фондоемкость труда к электросиловооруженности труда	1,08	1,1	0,89	1,02	1,46	—	—	—	—	—
Фондоемкость труда к электротехнологической вооруженности труда	0,9	0,74	0,96	0,85	1,34	—	—	—	—	—

ду ростом фондовооруженности и электровооруженности труда.

Таким образом, за рассматриваемый отрезок времени рост электровооруженности труда в промышленности определялся общим ростом его технической вооруженности при почти неизменном участии в этом процессе электроэнергии. Одновременно увеличивалась до 1965 г. доля электроэнергии, идущая непосредственно на технологические нужды.

Этими соотношениями в известной мере оценивается качественная сторона роста фондовооруженности труда, которая особенно сказывается на росте его энерго- и электровооруженности.

Показатель электрооснащенности фондов, исчисленный через величину потребления электроэнергии, за рассматриваемый период значительно снизился. Возможно, что это связано с факторами, не имеющими прямого отношения к технической вооруженности труда, например с уменьшением числа часов использования производственного и энергетического оборудования. Некритическое использование показателя электрооснащенности фондов для оценки уровня электрификации и технической вооруженности труда может поэтому привести к ошибочным выводам. В этой связи более интересным является показатель электрооснащенности фондов по мощности, т. е. соотношение между количеством средств труда (основными фондами) и количеством энергомошностей, которые приводят их в движение.

Увеличение уровня электрификации заключается в конечном счете именно в таких процессах, как повышение затрат электроэнергии на единицу производственного потенциала, и в снижении массы основных фондов по отношению к количеству используемых энергомошностей. Эти процессы являются исходными для прогрессивных сдвигов в структуре и производительности основных фондов. В этом смысле производительность средств труда может рассматриваться как величина, идентичная их энергетическим характеристикам.

Так, в СССР в промышленности основные производственные фонды за период 1940—1974 гг. увеличились в 15,0 раз, а установленная энергетическая мощность предприятий, обслуживающая производственный процесс, в 17,4 раза. В сельском хозяйстве стоимость основных фондов (не включая скот) увеличилась за этот

же период в 10,38 раза, а энергетические мощности (без рабочего скота) в 11,4 раза (с 36,9 млн. л. с. в 1940 г. до 422,5 млн. л. с. в 1974 г.). При этом мощность электроустановок возросла с 0,6 млн. л. с. в 1940 г. до 75,4 млн. л. с. в 1974 г., т. е. в 126 раз.

В США за период 1929—1965 гг. промышленная продукция возросла в 3,7 раза, основной капитал в промышленности в 1,8 раза, а установленная энергетическая мощность, отражающая уровень электрификации, в 4,1 раза.

Увеличение электрооснащенности основных фондов сопровождается изменением их вещественной структуры и отражает повышение доли активной части фондов — машин и оборудования — в их общей стоимости (табл. 2-13).

Таблица 2-13

Структура основных промышленно-производственных фондов СССР¹, %

Показатели	На 1/I 1960 г.	На 1/I 1975 г.	Рост стоимости за 15 лет, раз
Вся стоимость фондов	100	100	3,4
В том числе силовые машины, рабочие машины и оборудование:	31,9	34,9	3,6
силовые машины и оборудование	8,1	8,1	3,4
рабочие машины и оборудование	23,8	26,8	3,7

¹ Рассчитана по данным статистических сборников „Народное хозяйство СССР“. М., „Статистика“, (издания 1960—1974 гг.).

Исследование зависимости между потреблением электроэнергии и стоимостью изготовленного электрооборудования для всех отраслей народного хозяйства показало высокий коэффициент корреляции между этими показателями; при этом с увеличением масштабов применения электроэнергии стоимость изготовленного оборудования в расчете на 1 кВт·ч возрастает. Эта зависимость отражает еще более глубокие сдвиги в структуре основных производственных фондов, в частности, применение все более сложного электрооборудования, где электроэнергия выступает в качестве непосредственного производственного агента. Если полагать, что динамика стоимости силовых машин и оборудования в промышленности (см. табл. 2-13) отражает интенсив-

ность развития силовых процессов, а динамика стоимости рабочих машин и оборудования — совокупную интенсивность развития силовых и технологических процессов, то можно видеть, что возрастание удельного веса активной части основных промышленно-производственных фондов осуществляется прежде всего за счет технологического оборудования. Эта взаимосвязь проявляется и в динамике структуры энергетических мощностей: доля электроаппаратов росла быстрее, чем удельный вес электромоторов и механических двигателей. Наконец, был характерен опережающий рост потребления электроэнергии на технологические нужды, т. е. опережающий рост электротехнологической вооруженности труда и оснащенности фондов¹.

Как и электровооруженность труда по электроэнергии, электровооруженность труда и основных фондов по мощности различна в различных отраслях промышленности и хозяйства и отражает различия в продуктовой и технологической структуре этих отраслей. Это может быть показано на примере Казахской ССР с учетом особенностей структуры ее промышленности (табл. 2-14).

Для оценки роли электрификации как фактора экономического роста нами был проведен укрупненный расчет эффективности применения электроэнергии в различных процессах в период 1950—1971 гг.

По данным, характеризующим прирост потребления электроэнергии в общем приросте полезного потребления энергии, было определено, какое количество электроэнергии потребовалось бы в 1971 г. при уровне электрификации 1950 г. *. Тем самым условно оценены объемы прироста потребления электроэнергии, связанные с повышением уровня электрификации народного хозяйства в период 1950—1971 гг. Результаты этой оценки приведены в табл. 2-15.

Как видно из табл. 2-15, в период 1950—1971 гг. примерно половина прироста годового потребления электроэнергии была связана с увеличением объема производства продукции и услуг и половина определя-

¹ Эти сдвиги характерны для всего рассмотренного периода, за исключением нескольких последних лет, когда рост электротехнологической вооруженности труда замедлился. Причины этого нуждаются в специальном исследовании.

* См. приложение 4.

Таблица 2-14
Электровооруженность и электромодельная вооруженность труда рабочего и основных фондов в промышленности Казахской ССР в 1970 г.*.

Отрасли промышленности	Электровооруженность труда по энергии		Электровооруженность по мощности			
	по всей потребляемой энергии, %	доля технической электровооруженности от всей электровооруженности по всей промышленности, %	труда			основных фондов по электромоторам и аппаратам, отнесенная ко всей промышленности, %
			доля электровооруженности труда от всей электровооруженности, %**	доля электромощности		
				электромоторов, %	электростанций, %	
Вся промышленность	100	36,2	90,6	79,5	20,5	100
Топливная	88,5	1,5	92,5	92,5	7,5	75,3
В том числе:						
нефтедобыча	127	1,5	86	58,0	42,0	41,8
нефтепереработка	189	0,4	42	95,5	4,5	14,0
угольная	83,5	1,6	96,5	88,5	11,5	94,5
Черная металлургия	368	40,2	88,5	83,0	17,0	154
Цветная металлургия	304	63,5	91	32,5	67,5	123
Химия и нефтехимия	368	26,9	96,5	68,0	32,0	124
Машиностроение и металлообработка	24,6	35,0	92,5	70,0	30,0	76,5
Лесная и лесоперерабатывающая	18,6	8,4	85,0	93,5	6,5	68,4
Строительных материалов	65	7,3	85,0	82,5	17,5	72,3
Легкая	9	7,1	95,0	87,0	13,0	34,8
Пищевая	28,4	10,0	92,5	92,5	7,5	81,3
Мясо-молочная	24,2	8,8	88,5	91,0	9,0	82,4

* Петрушин Н. И. Электрификация и производственные силы Казахстана. Алма-Ата, «Казахстан», 1973, с. 165—166.

** В электровооруженности кроме электромоторов и электроаппаратов учитывается мощность механических двигателей.

Прирост потребления электроэнергии на повышение уровня электрификации в период 1950—1971 гг.

Группы процессов	Расход полезной энергии, млн. Гкал*		Коэффициент электрификации		Потребление полезной энергии в виде электроэнергии, млн. Гкал			Прирост потребления за 21 год	
	1950 г.	1971 г.	1950 г.	1971 г.	1950 г.	1971 г.		Всего, млн. Гкал/год	в том числе на повышение уровня электрификации
						по уровню электрификации 1950 г.	по уровню электрификации 1971 г.		
«Освещение	0,6	3,9	84	100	0,5	3,2	3,9	3,4	0,7
«Силовые	81,0	712,8	25	41	20,0	178,0	295,0	275,0	117,0
«Технологические (высокотемпературные и др.)	140,0	680,9	3	12	4,2	20,5	88,9	84,7	68,4
«Низко- и среднетемпературные	554,1	1711,4	—	1	—	—	15,0	15,0	100
«Всего по народному хозяйству	775,7	3109,0	3,2*	13*	24,7	201,7	402,8	378,1	201,1
									50*

* В среднем по народному хозяйству.

лась повышением уровня электрификации отдельных процессов. С учетом среднего коэффициента полезного действия потребительских аппаратов в каждой группе процессов можно ориентировочно оценить прирост потребления подведенной энергии, связанной с повышением уровня электрификации страны. Из сопоставления альтернативных технологий и видов энергии был ориентировочно оценен удельный экономический эффект, связанный с применением электроэнергии для различных процессов.

Авторами была рассчитана величина этого эффекта по основным группам процессов с учетом стоимости получения, транспорта и использования рассматриваемых видов энергии по годовым приведенным затратам.

Результаты ориентировочной оценки эффективности электрификации приведены в табл. 2-16.

Таблица 2-16

Эффективность повышения уровня электрификации страны за период 1950—1971 гг.

Группы процессов	Прирост полезного потребления энергии в электро-энергии, млн.Гкал	К. п. д. аппаратов по уровню 1971 г.,%	Прирост потребления электро-энергии в подведенной энергии, млрд. кВт.ч	Удельный эффект, коп/кВт.ч	Полезный эффект, млрд. руб.
Освещение	0,7	5,8	14,0	Не оценивался	
Силовые	117,0	72	205,0	4,6	9,40
Высокотемпературные и др.	68,4	69	115,0	2,85	3,18
Низко- и средне-температурные	15,0	100	17,0	1,00	0,17
Итого	201,1	67	351,0	3,8*	12,75

* В среднем по народному хозяйству (без освещения).

Таким образом, грубая оценка показывает, что эффект от повышения уровня электрификации страны за период 1950—1971 гг. по годовым приведенным затратам составил на уровне 1971 г. около 13 млрд. руб.

Так как эта величина представляет собой эффект от внедрения электротехнологий, то в этом смысле она может рассматриваться как показатель роли электрифи-

кации в числе других факторов роста. Вместе с тем эффект от электрификации и здесь выступает как производная от показателей фондо- и материалоемкости производства и т. п. в электрических технологиях и не может быть выделен в чистом виде как самостоятельный фактор экономического роста.

Приведенные данные свидетельствуют о трудности оценки эффективности электрификации как самостоятельного фактора экономического роста. Еще более сложен перенос уже выявленных соотношений экономических параметров роста на будущее — имея в виду изменения структуры энергетических процессов и функций электротехнологий. Переход от замены электроэнергией живого труда в силовых процессах, которая особенно эффективна, к замене новыми электротехнологиями технологий и процессов, основанных на использовании других видов энергии, или других менее производительных электротехнологий снижает эффект электрификации. Однако закономерность этого снижения эффективности, подобно «закону убывающего плодородия почвы», который подвергся критике со стороны В. И. Ленина, носит относительный характер и действует до тех пор, пока технический прогресс не создаст принципиально новых условий высокодинамического развития. Этим определяется в частности особенно высокая эффективность электрофизических и электрохимических процессов, основанных на применении новых высокопроизводительных технологий и форм использования электроэнергии.

Скачкообразное развитие факторов экономического роста было хорошо показано Б. Г. Кузнецовым применительно к перспективной динамике производительности общественного труда. Б. Г. Кузнецов вводит в экономику понятие «фундаментального экономического индекса» [Л. 49, с. 29—30]. Этот индекс состоит из переменных, указывающих кроме производительности общественного труда P на ее положительные производные по времени: скорость возрастания этой величины $\dot{P}$ и ее ускорение $\ddot{P}$, если оно имеет место. Если будет возрастать ускорение производительности общественного труда, т. е. третья производная от этой величины по времени окажется также больше нуля, тогда эта третья производная войдет в фундаментальный экономический индекс.

Когда создаются новые конструкции, технологические рецепты и т. п., темп экономического прогресса

растет, а производная $\dot{P}$ больше нуля. Однако речь идет пока еще о техническом воплощении уже известных физических циклов, химических реакций и т. п. Когда наука приходит к новым циклам и реакциям, это обеспечивает ускорение $\dot{P}$; иначе говоря, вторая производная по времени $\ddot{P}$ тоже становится больше нуля. Именно такие успехи науки дают возможность решать задачи повышения эффективности общественного производства. Наконец, реализация принципиально новых технологических принципов может обеспечить возрастание ускорения уровня производительности общественного труда. Как указывает Б. Г. Кузнецов: «...Если наука придет к систематическому и непрерывному исследованию фундаментальных проблем и преобразование ее принципов станет непрерывным, развитие цивилизации будет характеризоваться большей, чем нуль, третьей производной от P по времени: $\ddot{\dot{P}} > 0$ ».

Соответственно изменение условий энергоснабжения народного хозяйства, освоение новых, более экономичных способов производства и использования электроэнергии существенно расширят сферы ее использования.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

3-1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКУ. МЕТОДЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Решения XXIV и XXV съездов КПСС подчеркнули огромное значение роста эффективности общественного производства для успешного коммунистического строительства. В этой связи методологический и практический опыт такой крупной комплексной отрасли материального производства, как энергетика, представляет большой интерес, выходящий за рамки собственно энергетического хозяйства.

При планировании и проектировании энергетического хозяйства нашей страны в массовых масштабах проводятся технико-экономические расчеты, и обосновываются оптимальные решения. Исходные принципы этих решений были заложены в плане ГОЭЛРО и ряде ленинских статей, писем, выступлений в связи с разработкой и обсуждением плана ГОЭЛРО. Вместе с тем, новые проблемы развития народного хозяйства ставят перед энергетиками сложные задачи.

Энергетика за годы Советской власти прошла большой путь, обеспечивая на каждом этапе социалистического строительства необходимую энергетическую базу народного хозяйства. Для этого приходилось решать крупнейшие количественно и качественно новые задачи—технические, экономические и организационные, для которых не имелось готовых решений. Достаточно отметить, что в истекшем пятилетии ежегодный ввод мощности на электростанциях СССР в 6 раз превышал мощность всех электростанций, намеченных программой ГОЭЛРО, рассчитанной на 10—15 лет, а мощность, например, одной Красноярской ГЭС равна трем программам ГОЭЛРО. Структурные связи и охват территории страны единым энергетическим хозяйством необычайно усложнились и расширились, а сама энергетика подошла сейчас к важнейшему, качественно новому этапу.

Основные положения плана ГОЭЛРО сыграли огромную роль для решения стоящих перед энергетикой экономических задач. В плане ГОЭЛРО был дан ряд методологических положений, значение которых раскрывалось постепенно с развитием нашей экономики. Их важность стала особенно очевидной в свете современного этапа научно-технической революции.

Крупнейшее методологическое значение для всей теории экономической эффективности (и экономики энергетики в особенности) имело центральное положение плана ГОЭЛРО об определяющей связи между электрификацией и ростом производительности труда. Из этого следовало, что эффективность общественного производства должна определяться в связи с электрификацией и развитием энергетики. Энергетика, в свою очередь, получила необходимую ориентацию во всех дальнейших разработках.

Особое значение для развития методологии оценки эффективности электрификации народного хозяйства

имеет письмо В. И. Ленина к Г. М. Кржижановскому от 14 марта 1920 г. *. В этом письме даны основы системной оценки эффективности электрификации:

вариантность экономического анализа;

сопоставление при этом анализе не отдельных объектов, а народнохозяйственных структур с разным значением электроэнергетической слагаемой;

затраты и результаты при этом сравнительном анализе прослеживаются по всему энергохозяйственному циклу с вовлечением в рассмотрение всего народного хозяйства (а не только в рамках энергетических затрат и эффектов).

Здесь В. И. Ленин подчеркивает, в частности, важность выбора технологий и энергоносителей для обоснования уровней электрификации: «...доказать

или хотя бы иллюстрировать

а) громадную выгодность,

б) *необходимость* электрификации.

Примерно:

I. Транспорт. Восстановить по-старому — надо α миллионов (по довоенным ценам) или α топлива + β рабочих дней.

А для восстановления на базе электрификации

α — x млн. рублей

α — y топлива + $(\beta - z)$ рабочих дней.

Или *то же* $\frac{\alpha}{\alpha + \beta}$, но с эффектом во столько-то раз больше прежнего.

III. Земледелие. Восстановить, скажем, +5 млн. плугов и конных упряжек.

Стоимость этого по-старому и при электрификации?»...

В плане ГОЭЛРО была поставлена проблема измерения дополнительных капитальных затрат и экономии на годовых издержках, в частности для таких капиталоемких объектов, как гидроэлектростанции. Здесь впервые возникла категория срока окупаемости дополнительных капитальных вложений. Другими словами, в плане ГОЭЛРО задаче максимизации прироста производительности труда был придан общий народнохозяйственный аспект в увязке с уровнем капиталоемкости сопоставляемых вариантов.

* Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 51, с. 159—160.

Принцип окупаемости распространен в плане ГОЭЛРО, в частности, и на комплексные водохозяйственные мероприятия. План рекомендует разносить капиталовложения в сооружения комплексного назначения между участниками комплекса (ирригация, энергетика, водный транспорт и т. д.), повышая этим эффективность ведущего компонента.

В энергетике положения плана ГОЭЛРО развивались и использовались наиболее последовательно. Этому способствовала многолетняя плодотворная деятельность руководителя комиссии ГОЭЛРО Г. М. Кржижановского и его школы, развившего, в частности, системный подход плана ГОЭЛРО в виде так называемого комплексного энергетического метода исследования. Вместе с тем, сама жизнь, проектно-плановая практика в энергетическом хозяйстве делали необходимым все более широкое применение экономических принципов плана ГОЭЛРО.

Вопросы экономической эффективности в энергетике разрабатывались многими инженерами и экономистами, занятыми конкретными инженерными расчетами. Широкому применению метода срока окупаемости при оценке сравнительной эффективности особенно способствовали работы С. А. Кукель-Краевского, В. И. Вейца и других. Следует отметить также важную роль Всесоюзного совещания по вопросам эффективности (1957 г.). Оно узаконило срок окупаемости, приведенные затраты и другие категории экономической эффективности капиталовложений. Созданная на основе рекомендаций конференции «Типовая методика»¹ разграничила категории абсолютной и сравнительной эффективности, выдвинула в качестве критерия экономической эффективности капиталовложений по народному хозяйству прирост национального дохода (в сопоставимых ценах) по отношению к капиталовложениям, вызвавшим этот прирост, и сыграла важную роль для развития экономических обоснований и улучшения всей экономической работы, как в энергетике, так и в других отраслях промышленности.

¹ Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. М., Госпланиздат, 1960. 22 с. (Второе, пересмотренное издание Типовой методики вышло в 1969 г.).

Существенный вклад в разработку теоретических основ эффективности в энергетике внесли Т. С. Хачатуров, В. В. Новожилов, А. И. Ноткин, А. Е. Пробст и др.

Особенностью энергетики является необходимость соизмерения единовременных и текущих затрат буквально во всех технико-экономических проектировках и расчетах. Это относится прежде всего к выбору структуры энергетического хозяйства на всех ступенях ее организации. К задачам этого типа относятся выбор ГЭС или КЭС, когда дополнительные капиталовложения в ГЭС должны быть сопоставлены с приносимой ГЭС экономией эксплуатационных издержек по сравнению с конденсационной электростанцией; выбор ТЭЦ или отдельных источников электро- и теплоснабжения, когда дополнительные капиталовложения в ТЭЦ сопоставляются с экономией топливной слагаемой эксплуатационных издержек; сравнение топливной КЭС с атомной электростанцией; выбор параметров теплоэнергетических установок, когда дополнительные вложения, необходимые для перехода на сверхкритические параметры пара, должны сопоставляться с обусловленной этим переходом экономией топлива; определение числа выхлопов паровых турбин; выбор сечений энергетических трактов, например увеличение сечения проводов линий электропередачи, требующих больших затрат алюминия, но снижающих потери энергии; увеличение сечения гидравлических трактов, связанное с дополнительными затратами, но также снижающее потери энергии; выбор отметки нормального подпорного уровня гидротехнических сооружений, когда дополнительным затратам в сооружения и затопляемую зону противостоит прирост мощности ГЭС, вытесняющий эквивалентную мощность тепловой электростанции, и т. п.

Проектирование и планирование строительства крупных гидроузлов, требующих значительных капитальных вложений при нередко длительных сроках строительства и реализации эффектов, остро поставили вопрос о необходимости отражения в технико-экономических сравнениях фактора времени.

Нормативное значение коэффициента сравнительной эффективности, при посредстве которого осуществляется приведение единовременных и текущих затрат к сопоставимой размерности, или обратное ему значение нормативного срока окупаемости вырабатывались в энер-

гетике путем «проб и ошибок», сравнения с мировой и отечественной практикой. При этом определялись две тенденции: постепенное повышение значения нормативного коэффициента эффективности E_n или снижение значений нормативного срока окупаемости T_n ; дифференциация нормативов эффективности внутри энергохозяйства.

Если в начале 30-х годов значения нормативных сроков окупаемости составляли 25—15 лет ($E_n = 4 \div 7\%$), то постепенно они достигли 7—8 лет ($E_n = 15 \div 12\%$). Вместе с тем с самого начала была обособлена гидроэнергетика, для которой принимались пониженные нормативные коэффициенты. Так, например, в инструкциях по технико-экономическим расчетам в гидроэнергетике, действовавших в начале 30-х годов, нормативные сроки окупаемости составляли 25—15 лет, различаясь по крупным районам в зависимости от их энергоэкономических характеристик. Затем этот норматив был снижен до 10 лет, оставаясь все же ниже норматива для энергетики в целом.

В «Инструкции по определению экономической эффективности в энергетике» [Л. 31], разработанной на базе «Типовой методики» 1969 г. [Л. 107] и утвержденной Минэнерго СССР и Госпланом СССР, предусматривается возможность снижения нормативного коэффициента эффективности для крупных энергетических объектов, имеющих большое районообразующее значение.

В практике технико-экономических расчетов в энергетике уже на самых крупных ступенях экономических обоснований были разработаны и применены обе взаимосвязанные формулы, получившие затем широкое распространение во всех областях народного хозяйства в виде критериев сравнительной экономической эффективности:

формула срока окупаемости дополнительных капиталовложений

$$T_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} \leq T_n, \quad (3-1)$$

где K_1, K_2 — капитальные вложения по сопоставляемым вариантам; C_1, C_2 — текущие затраты (себестоимость) по сопоставляемым вариантам; T_n — нормативное значение срока окупаемости; $T_{ок}$ — срок окупаемости дополнительных капиталовложений в более капиталоемкий вариант;

формула приведенных затрат

$$Z = C_i + E_n K_i = \min, \quad (3-2)$$

где K_i — капитальные вложения по каждому варианту; C_i — текущие затраты (себестоимость) по тому же варианту; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Получила также довольно широкое распространение модификация формулы приведенных затрат в виде

$$Z = K_i + T_n C_i = \min. \quad (3-3)$$

Определенным вкладом в методику технико-экономических расчетов явилась разработка метода приростных предельных значений срока окупаемости, получившего в дальнейшем название «цепного метода». Параметры энергетических объектов выбирались путем определения сроков окупаемости последовательных приращений данного параметра по сравнению с приращением альтернативного «заменяющего» мероприятия. При этом наращивание параметра сопровождается увеличением срока окупаемости приростов. В результате значение параметра устанавливалось в соответствии с предельным приростом, срок окупаемости которого оказывался равным значению нормативного срока окупаемости.

В теоретическом отношении разработка этой методологии была важным шагом вперед, так как она позволяла показать, что при достижении именно предельных значений нормативного срока окупаемости прироста параметра обеспечивается его экономически эффективное значение. При использовании формулы (3-2) именно этому значению соответствует минимальная точка на кривой значений приведенных затрат. Это означало, что минимум приведенных затрат не совпадает с минимумом срока окупаемости, что оптимальные решения достигаются при нормативном сроке окупаемости приростов, а не при минимальном его значении. Другими словами, целесообразно экономить живой труд за счет дополнительных единовременных затрат, пока не достигнут нормативный срок окупаемости прироста параметра. Было также показано, что так как только последнее приращение окупается в нормативный срок, а все предшествующие приросты в меньшие сроки, то средние сроки окупаемости объекта в целом по сравнению с альтернативным вариантом оказываются, как правило, меньше нормативного.

Общая тенденция в применении формул для расчета экономической эффективности состояла во все более широком использовании выражения приведенных затрат (3-2) взамен формул (3-1) и (3-3). Формуле срока окупаемости (3-1) нередко придавалась неправильная трактовка, особенно при ее геометрической интерпретации, когда сравнивались интегральные затраты и делался неправильный вывод, что более капиталоемкий вариант становится источником непрерывно нарастающего «чистого дохода».

Вместе с тем, вероятно, нельзя отрицать целесообразность использования в отдельных случаях и формулы срока окупаемости (3-1). Она может быть, в частности, использована, когда в силу тех или иных обстоятельств важно оценить значение абсолютной разницы именно в единовременных затратах и сравнить его с экономией издержек.

Дальнейшие исследования вопросов экономической эффективности в энергетическом хозяйстве были связаны с развитием методов системного анализа при разработке структуры и перспектив развития энергетики. Здесь особое значение имели работы В. В. Болотова и Л. А. Мелентьева. Основой для расширения системного подхода в энергетическом хозяйстве в истекшем тридцатилетии была перестройка топливно-энергетического баланса страны, связанная с широким использованием ресурсов нефти и природного газа. За счет этого и технического прогресса во всех звеньях энергетического хозяйства резко увеличилась взаимозаменяемость вовлекаемых энергетических ресурсов; вместе с тем значительно возросли централизация и концентрация энергетического производства. Особенно велик был прогресс в электроэнергетике, где уже создана Единая энергетическая система страны, а централизация достигла 95%.

Образование электроэнергетической системы, синхронизирующей электростанции разных типов (гидравлических, конденсационных, теплофикационных и др.), для работы на единый график нагрузки, определяемой производственным режимом потребителей энергии, сделало постепенно очевидным некорректность практиковавшихся сопоставлений изолированных источников энергии (например, ГЭС по сравнению с КЭС; ТЭЦ по сравнению с вариантом КЭС и котельная и т. д.). Функ-

циональная специализация электростанций в энергосистеме (пиковые, базисные, полубазисные, регулируемые или с принудительным режимом энергоотдачи и т. д.) сделала очевидной невозможность сопоставления, например, гидроэлектростанции с малым числом часов использования, выполняющей так называемые «мощностные» функции, с крупной тепловой электростанцией, рассчитанной на равномерную во времени выработку киловатт-часов и имеющей для этого соответствующее оборудование. Даже сопоставление электростанций одного функционального назначения (например, ГЭС и устаревших ТЭС, для которых целесообразна работа с наименьшим числом часов использования) оказывалось неполноценным без анализа системы в целом. Поэтому сопоставление изолированных электростанций между собою было заменено экономическим сравнением энергосистем разных структур, обеспечивающих выдачу одинаковой мощности и энергии в соответствии с графиком ее потребления.

Структурный анализ эффективности капиталовложений в энергетике неизбежно приводил к необходимости разработки динамической системы технико-экономических расчетов и связывал ее в определенной мере с долгосрочными прогнозами развития энергетического хозяйства.

В течение длительного времени — с 30-х годов по 60-е годы — динамика учитывалась как совокупность так называемых «расчетных» уровней. Так, Генплан электрификации 1932 г. разрабатывался для уровней 1937 и 1942 гг., т. е. на 5-и 10 лет вперед. Разработки водноэнергетических схем крупных регионов, охвативших в 1934—1935 гг. весь Советский Союз, проводились для уровней 1942 и 1947 гг. Последующие проектировки охватывали текущий пятилетний план и один или два следующих пятилетних этапа. В дальнейшем влияние динамики стало отражаться более полно за счет анализа более дробных этапов, вплоть до годовых; все более тщательно учитывались заделы, изменения структуры оборудования и условий топливоснабжения, варианты разной последовательности ввода энергообъектов, изменения режимов энергопотребления, последствия принимаемых решений и т. п. В последнее десятилетие в электроэнергетике широко применяется линейное и динамическое программирование; развитие

электроэнергетики оптимизируется в составе моделей глобальной системы топливно-энергетического хозяйства.

В этих условиях одним из важнейших элементов динамического экономического анализа является учет фактора времени в технико-экономических расчетах. Настоятельность этого учета обусловлена экономической неравноценностью затрат (и получаемых эффектов), производимых в разное время.

Необходимость экономической оценки фактора времени при сопоставлении затрат и результатов по формулам (3-1)—(3-3) возникала в энергетике уже на ранних ступенях экономического анализа. Так, между отдельными вариантами решения нередко существует очень большая разница в продолжительности строительства и освоения энергетических объектов. Водохранилища многолетнего регулирования, например, заполняются иногда в течение нескольких лет. Поэтому варианты различных высот подпорных сооружений иногда существенно различаются по срокам начала и величине энергоотдачи. Широко распространено строительство и ввод электростанций очередями, что является альтернативой единовременному вводу на полную мощность, которая, однако, временно могла бы быть не освоена. Аналогичные ситуации возникают при выборе напряжения линий электропередачи, сечения проводов, трубопроводных сетей и т. д. Еще более сложно учитывать фактор времени при выборе оптимальной структуры электроэнергетических и других систем, объединяющих много объектов, когда возможны значительные варьирования вводов объектов разной капиталоемкости (с соответствующим сдвигом реализации экономии в издержках) и неизбежны изменения во времени всех экономических условий системы. Частным случаем является задача обеспечения экономической равноценности вариантов, когда один из них предусматривает создание новой производственной мощности в конце расчетного периода с реализацией экономии на издержках за его пределами.

В общем виде методика сравнения вариантов должна учитывать изменяющиеся во времени капитальные вложения, ежегодные издержки и продукцию (начиная от разных сроков строительства, освоения, выхода на проектную мощность до изменения последовательности

чередования объектов и соответствующих затрат в течение расчетного периода и за его пределами).

Необходимость учета фактора времени при использовании формулы срока окупаемости первоначально не была признана. Некоторые авторы полагали, что фактор времени как бы автоматически учитывался структурой формулы (3-1). Высказывалось также мнение, что для сроков строительства объектов всякий учет фактора времени излишен, если эти сроки укладываются в нормативы.

Наиболее примитивной формой учета фактора времени явилось предложение прибавлять к значению срока окупаемости данного объекта разницу в строительных сроках по сравнению с альтернативным вариантом.

Заметное распространение в специальной литературе получило предложение учитывать фактор времени, взвешивая затраты по времени и получая тем самым их значение за расчетный период. Этот прием дает результаты, близкие к простому процентированию. Дальнейшим шагом было применение простого процентирования капитальных вложений и осредненных значений издержек за период временной эксплуатации. Затраты приводились к году достижения полной мощности электростанции.

Далее использовалась формула (3-1) [Л. 56]. В этой связи нужно отметить, что в первом издании типовой методики определение экономической эффективности капиталовложений допускалось как по формуле простых процентов (при незначительном числе лет), так и по формуле сложных процентов.

При этом процентирование (приведение) не распространялось на текущие (годовые) издержки. В действующей Типовой методике 1969 г. для приведения затрат во времени используются сложные проценты, при этом дисконтирование распространено как на капиталовложения, так и на изменяющиеся во времени текущие затраты.

В области энергетики сложное процентирование, распространенное на капиталовложения и издержки, было применено для учета фактора времени в «Основных методических положениях технико-экономических расчетов в энергетике» 1959 г., а также в работах

Л. А. Ваага и С. Н. Захарова¹. Оно получило наиболее полное выражение в работах В. В. Болотова, Д. С. Шавелева, в «Методике технико-экономических расчетов в энергетике», утвержденной Государственным комитетом по науке и технике в 1966 г. [Л. 58], и в действующей «Инструкции по определению экономической эффективности капиталовложений в развитие энергетического хозяйства» (1973 г.), утвержденной Минэнерго СССР и согласованной с Госпланом СССР [Л. 31].

В этих работах логика построения критерия сравнительной экономической эффективности на основе минимума приведенных затрат примерно следующая. Формула приведенных затрат (3-2) соответствует объектам со сроками строительства до одного года, имеющим постоянные годовые издержки и объем выпускаемой продукции. Если же капиталовложения рассредоточены по годам и есть период временной эксплуатации строящегося объекта (т. е. до выхода на режим нормальной эксплуатации меняются капиталовложения и годовые издержки), общие затраты определяются приведением (дисконтированием) годовых затрат к выбранному сечению времени.

Если через τ обозначить год, к которому приводятся все затраты, то капитальные вложения и издержки, произведенные в год t , приводятся к году τ путем умножения их на множитель, определяемый по формуле $B = (1 + E_n)^{\tau - t}$.

На этом принципе базируется формула

$$Z_{пр} = E_n \sum_{t=1}^{\tau} K_t (1 + E_n)^{\tau - t} + \sum_{t=t_0}^{\tau} \Delta C_t (1 + E_n)^{\tau - t}, \quad (3-4)$$

где $Z_{пр}$ — приведенные затраты; K_t — капитальные затраты в год t ; ΔC_t — приращение ежегодных издержек в год t ; E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; E_n — нормативный коэффициент приведения разновременных затрат; τ — год приведения затрат (один и тот же для всех вариантов); t_0 — год начала эксплуатации объектов.

Указанная формула рекомендована «Инструкцией по определению экономической эффективности капиталовложений в развитие энергетического хозяйства».

¹ Методы экономической оценки в энергетике. М., «Энергия», 1962. 272 с.

В «Методике технико-экономических расчетов в энергетике» приводится следующая формула:

$$Z_{\text{пр}} = E_n \sum_{t=1}^T (K_t + C_t)(1 + E_n)^{T-t} + C_n(1 + E_n)^{T-T}, \quad (3.4a)$$

где C_n — издержки в период нормальной эксплуатации.

Формула (3-4) дает такие же результаты, что и (3-4a), при условии равенства значений нормативных коэффициентов эффективности и приведения ($E_n = E_{\text{н}}$) и понимании прироста издержек как разницы следующего и данного года эксплуатации.

За пределами строительства и временной эксплуатации объекта предполагается режим нормальной эксплуатации при неизменности выпуска продукции и не меняющихся во времени ежегодных издержках.

В расчетах приходится учитывать ситуации, когда период нормальной эксплуатации отсутствует, а значения капиталовложений, годовых издержек и объемов продукции постоянно меняются. В принципе эта задача может быть решена также приведением затрат (капиталовложений и годовых издержек) каждого года к единому моменту времени за расчетный период T путем суммирования затрат:

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{t=1}^T Z_t(1 + E_n)^{T-t}. \quad (3.5)$$

Расчетный период T устанавливается исходя из условий задачи, например исходя из срока службы объекта, степени надежности информации и т. п.

Одним из существенных вопросов является определение значений коэффициента приведения E_n и нормативного коэффициента эффективности $E_{\text{н}}$, установление их равенства или различия. Единого мнения по этим вопросам, однако, нет.

В «Инструкции по определению экономической эффективности в развитии энергетического хозяйства», как и в «Типовой методике» 1969 г., амортизационные отчисления не дисконтируются, а принимаются по действующим нормам. В этих условиях приняты значения $E_n = 0,12$ и $E_{\text{н}} = 0,08$. Вместе с тем проведенные в институте «Энергосетьпроект» и ЭНИН имени Г. М. Кржи-

Жановского¹ исследований показали, что варианты технических и структурных решений в энергетическом хозяйстве, выполненные с применением требований и нормативных коэффициентов «Типовой методики» 1969 г., приводят практически к таким же результатам и выводам, что и при использовании равных значений нормативных коэффициентов приведения и эффективности $E_n = E_n = 0,12$, но с применением дисконтирования реновационной составляющей годовых издержек, как этого требует «Методика технико-экономических расчетов в энергетике».

Предложение дисконтировать амортизационные отчисления при технико-экономических расчетах исходит из учета того положения, что отчисления на реновацию до момента их расходования по прямому назначению могут быть использованы на других участках народного хозяйства. За счет дохода от этого использования сумма реновационных отчислений, обеспечивающих простое воспроизводство объекта, может быть уменьшена и соответственно снижена норма реновации.

Сумму реновационных отчислений в изложенном предположении предлагается определять по формуле

$$A_p = \frac{E_n \cdot K_{ос}}{(1 + E_n)^{t_{сл}} - 1},$$

где A_p — сумма амортизационных отчислений на реновацию;

$K_{ос}$ — капитальные вложения в основные производственные формы; $t_{сл}$ — срок службы объекта.

При применении этой формулы реновационные отчисления для объектов со сроками службы 30 лет и более могли бы вовсе не учитываться.

Остается, однако, все еще недостаточно изученным вопрос об отражении в значениях нормативных коэффициентов эффективности и приведения условий динамики экономики. Этот вопрос, общий для всей экономической науки в связи с разработкой долгосрочных экономических прогнозов, имеет особое значение для энергетики, выступающей пионером долгосрочного прогнозирования и характеризующейся особенно длительными циклами капиталовложений. Его решение выходит за рамки экономики энергетики и является предметом исследований общей теории эффективности капиталовложений.

¹ Захарин А. Г., Браилов В. П., Денисов В. И. Методы экономических сравнений вариантов по принципу минимума приведенных затрат. М., «Наука», 1971. 172 с.

Анализ динамики энергетического хозяйства дал некоторый материал для суждения и о целесообразности дифференциации значений нормативных коэффициентов эффективности. Среди факторов, обуславливающих необходимость некоторой дифференциации значений отраслевых нормативных коэффициентов эффективности, следует отметить специфические особенности технического прогресса, которые характерны для той или другой отрасли. Так, конденсационные электростанции подошли к пределу роста к. п. д. Если за предшествующие 30 лет к. п. д. почти удвоился, то в последующие 30 лет он возрастет лишь на 2—3%. Это означает, что энергетика стоит на пороге нового качественного скачка (ядерная энергетика, магнитогидродинамический способ производства электроэнергии, комбинированные циклы и т. д.), без которого дальнейший рост к. п. д. невозможен. Скачок этот может временно сопровождаться ростом капиталоемкости, за которым в дальнейшем должно последовать значительное увеличение фондоотдачи.

С другой стороны, ряд отраслей уже вступил в фазу быстрой реализации освоенного этапа технического роста и может развиваться с очень высокой отдачей капиталовложений. На разных этапах развития экономия живого труда обеспечивается в разных отраслях разной затратой труда овеществленного. Это обстоятельство образует реальную основу дифференциации нормативов эффективности. Вместе с тем создаются предпосылки для сближения этих нормативов в пределах комплексов взаимосвязанных отраслей, например среди отраслей топливно-энергетического комплекса. Поэтому вопрос об отраслевой дифференциации значений нормативного коэффициента эффективности должен быть исследован в ходе долгосрочного прогнозирования, в увязке с предвидимым техническим прогрессом и соотношением интенсивного и экстенсивного путей развития в отдельных комплексах.

Среди меняющихся входных и выходных параметров энергетике как динамической системы важное значение принадлежит учету продукции. Обычное требование состоит в том, чтобы варианты обеспечивали равный выход продукции. Соблюдение этого требования в динамике сложной системы — нелегкое условие.

Нередко при этом для выравнивания продукции приходится вводить в расчет условные дополняющие объекты и мероприятия.

Другой способ, примененный в «Методике технико-экономических расчетов в энергетике» 1966 г. и в «Инструкции по определению эффективности капиталовложений в развитие энергетического хозяйства» 1973 г., состоит в определении средневзвешенных удельных приведенных затрат всего расчетного периода. Это достигается простым преобразованием формулы (3-5) путем представления суммарных приведенных затрат каждого года как произведения продукции данного года на средневзвешенные удельные затраты.

Важным аспектом анализа динамики является учет социальных эффектов развития энергетики и электрификации. Это особенно ясно при сопоставлении, например, вариантов электрификации быта, где одним из главных элементов потребительского эффекта электроэнергии все больше становится так называемый фактор комфортности, который трудно выразить экономическим расчетом. В свете задач дальнейшего повышения благосостояния народа эти вопросы требуют самого серьезного внимания.

Существенной стороной анализа динамики является учет смежных производств, поставляющих энергетике оборудование и топливо. Условия их развертывания и экономические показатели имеют огромное значение для анализа эффективности развития энергетики.

Общее положение стоимостного учета смежных производств в расчетах эффективности электроэнергетики состоит в требовании, чтобы топливо и энергия (предметы труда), потребляемые электростанциями, учитывались по приведенным затратам. В этом случае неправильно добавлять капиталовложения в топливную промышленность из-за двойного счета. В тех же случаях, когда проектируемое мероприятие требует резкого увеличения объема капитальных вложений в смежные отрасли и их желательно учесть специально, а не через приведенные затраты, допускается включение соответствующих единовременных затрат непосредственно в объем капитальных вложений на проектируемое мероприятие. При этом продукция смежных производств должна оцениваться по себестоимости,

3-2. ЗАМЫКАЮЩИЕ ЗАТРАТЫ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ. МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В системе экономических расчетов в энергетическом хозяйстве особое место занимает категория замыкающих (регулирующих) затрат на топливо и энергию, базирующаяся на марксовой теории дифференциальной и горной ренты.

Уже в середине 30-х годов при разработке водно-энергетических схем был выдвинут тезис об ошибочности предложений размещать электроемкие производства на базе энергии будущих волжских ГЭС. Было показано, что экономически эти производства базировались бы на дорогом донецком топливе¹. В дальнейшем принцип замыкающего топлива получил широкое распространение в работах института «Гидроэнергопроект», в частности при обосновании сибирских и среднеазиатских электростанций. Затем он вошел в арсенал всех проектных организаций Минэнерго СССР, в частности, при обосновании ТЭЦ и параметров КЭС, напряжений линий электропередачи, сечений каналов и т. д. Существенный вклад в разработку замыкающих затрат, их применения внесли труды Сибирского энергетического института СО АН СССР, института «Энергосетьпроект», Совета по изучению производительных сил при Госплане СССР и других организаций.

Следует различать понятия замыкающие затраты и замыкающее топливо.

Замыкающие затраты на топливо и энергию представляют системы взаимосвязанных удельных экономических показателей, характеризующих экономическую оценку расходов по народному хозяйству для обеспечения дополнительной потребности в различных видах энергии по районам страны. Основой формирования замыкающих затрат на топливо и энергию являются показатели замыкающего топлива страны [Л. 92].

Замыкающее топливо — это практически то наименее экономичное из располагаемых видов топлива, которое дополнительно вовлекается в оптимальный топливный баланс при увеличении потребности в топливе

¹ В настоящее время мы сказали бы, что гидроресурсы европейской части получили оценку по стоимости донецкого угля как замыкающего топлива.

на единицу энергии. Соответственно замыкающие затраты на топливо включают приведенные затраты на добычу замыкающего топлива и разницу затрат на транспорт топлива и его использование у потребителей. Затраты в относительно более дорогие источники топлива и энергии служат базисом для формирования ренты для более дешевых месторождений и бассейнов.

Показатели замыкающих затрат дифференцированы территориально и по видам топлива, чем оценивается значение качественной неоднородности топлива для потребителей. В каждом районе для каждого вида топлива имеется замыкающая группа потребителей, на которой завершается распределение ограниченного энергоресурса. У этой группы данный вид топлива дает наименьший эффект. Применительно к этой группе потребителей уравниваются оценки всех взаимозаменяемых видов топлива с таким расчетом, чтобы они отличались на размер потребительского эффекта. Таким образом, замыкающая оценка ресурса у данного потребителя определяется стоимостью замыкающего топлива в районе плюс потребительский эффект, приносимый данным энергоресурсом по сравнению с замыкающим ресурсом. Размер ренты определяется разницей между суммой экономических оценок по замыкающим затратам и суммой индивидуальных стоимостей данного вида энергоресурсов.

Свойствами замыкающих затрат являются: способность наиболее полно оценивать экономию или перерасход народнохозяйственных ресурсов при изменении размеров энергопотребления и условий энергоснабжения в рассматриваемом районе [Л. 92]; относительная устойчивость — их значение, определяемое из оптимальной программы развития топливно-энергетического комплекса, изменяется лишь при значительном изменении вовлекаемых ресурсов и их экономических характеристик. Так, например, удешевление природного газа не отразится на значении замыкающих затрат в европейской части, если оно не будет сопровождаться особо резким увеличением масштабов поставки газа, способных вытеснить уголь наиболее дорогих шахт Донбасса.

При больших масштабах изменения потребности в топливе или энергии, вовлекаемых ресурсов и т. д. необходим новый оптимизационный расчет энергетического баланса страны. При этом область применения за-

мыкающих затрат ограничивается тем кругом задач, которые не могут вызвать коренные изменения энергетического баланса, на основе оптимизации которого и были получены их значения. Прежде всего замыкающие затраты применяются при проектных расчетах в энергетике, когда решаются частные задачи. Использование в таких расчетах замыкающих затрат обеспечивает соответствие локальных (частных) решений глобальному оптимуму для энергетического хозяйства в целом.

Нетрудно видеть, что например, выбор вида котельно-печного топлива на основе прямых затрат для той или иной отдельной установки или для производственного процесса привел бы к односторонней ориентации на жидкое топливо. Такое решение принесло бы ущерб народному хозяйству, так как при этом не учитывалось бы, что этот ресурс уже не будет использован по направлениям, где жидкое топливо является незаменимым, или может принести больший экономический эффект, чем при его сжигании под котлами.

На основе замыкающих затрат на топливо при экономических сравнениях формируются затраты на электроэнергию, тепло и продукты переработки топлива. Так, замыкающие затраты на электроэнергию определяются как произведение удельного расхода топлива для выработки электроэнергии на значение замыкающих затрат используемого топлива.

Следующей составляющей являются затраты на сооружение и эксплуатацию лучших электростанций, замыкающих электробаланс района и принимающих на себя прирост электрической нагрузки. Последняя составляющая определяется затратами на распределение электроэнергии.

Областями применения замыкающих затрат является выбор: видов энергии для конечных потребительских установок (например, нагрев и плавка металлов, обжиг минерального сырья, способы приготовления пищи и горячее водоснабжение, выбор вида тяги на железнодорожном транспорте и т. п.); вида топлива для технологических теплосиловых установок в котельных; параметров энергетических сооружений и оборудования (НПУ гидроэлектростанций, сечений каналов и трубопроводов, параметров и типов основного оборудования электростанций и т. п.); мероприятий по экономии топлива или энергии; значений потерь при добыче, транспортировке и переработке топлива, а также структуры генерирующих мощностей энергосистем (соотношение ГЭС и

ТЭС, сравнение комбинированной и раздельной схем энергоснабжения и др.).

Спорной является возможность применения замыкающих затрат для выбора района размещения предприятий. При оптимизации генеральной схемы размещения и развития производства нельзя, разумеется, пользоваться замыкающими затратами, ибо их значения как раз и должны быть определены как результат этой оптимизации. Следовательно, здесь все виды топлива должны учитываться по их прямым затратам. То же следует сказать и об оптимизации энергетического хозяйства в целом. Но полученные при этом значения замыкающих затрат видимо могут быть использованы в дальнейшем при решении частных задач, какими являются вопросы размещения отдельных отраслей, предприятий или комплекса предприятий той или другой отрасли. Значения замыкающих затрат на топливо [Л. 92] применительно к текущему пятилетию приведены в табл. 3-1.

Работы института «Энергосетьпроект» показали, что в обозримой перспективе не приходится ожидать резкого снижения уровня замыкающих затрат на топливо в районах европейской части СССР. Но в Сибири при надлежащем разворачивании добычи угля в Канско-Ачинском бассейне уровень замыкающих затрат может снизиться. Это свидетельствует о необходимости учета динамики при определении замыкающих затрат по основным районам.

В настоящее время продолжаются исследования вопросов разработки и применения замыкающих затрат. В частности, подлежат изучению: уровень необходимого агрегирования показателей замыкающих затрат; замыкающие затраты на продукты переработки топлива — нефтепродукты, продукты обогащения и энерготехнологической переработки углей и т. п. (в особенности для комплексных производств); возможность учета в размере замыкающих затрат условий связи с зарубежными рынками энергетических ресурсов, связь замыкающих затрат на топливо с ценообразованием на энергоресурсы и виды энергии. Видимо, энергетическое хозяйство — это как раз та область, где замыкающие затраты и цены могли бы быть существенно сближены. Это способствовало бы, в частности, более удовлетворительному решению вопросов взаимной увязки критерия ми-

Таблица 3-1

**Замыкающие затраты на топливо в 1975—1980 гг.
(руб/т условного топлива в ценах 1970 г., для
среднего расхода топлива)***

Район	Природный газ	Мазут	Уголь энергетический		
			каменный		Канско-ачинский бурый
			рядовой и отсев	сортовой	
Северо-Западный	23—26	22—25	22—24	23—25	—
Мурманская область	—	26—28	23—26	24—27	—
Коми АССР	17—20	16—19	14—16	15—18	—
Центр	23—26	22—25	21—23	22—24	—
Центрально-Чернозёмный район	22—25	21—24	20—22	22—24	—
Северный Кавказ	21—23	20—22	20—22***	21—23	—
Среднее Поволжье	21—23	20—22	19—21	20—22	—
Нижнее Поволжье	22—24	21—23	20—22	21—23	—
Северный Урал	19—21	18—20	15—18	16—19	—
Южный Урал	19—21	17—20	15—17 13—16**	16—19	—
Кемеровская область, Алтай	—	15—17	9—11	11—13 ^а	6—8
Новосибирская, Томская области	15—18	14—17	10—13	12—14	8—10
Омская область	—	14—17	12—15 10—13**	14—16	12—14
Красноярский край	—	15—17	10—12	12—13	2,5—3,5
Ирнгутская область	—	14—16	9—11	10—12	5—7
Забайкалье	—	15—17	11—12	12—13	—
Амурская область	—	17—19	11—13	13—15	—
Хабаровский край	17—20	16—18	12—14	14—16	—
Приморский край	—	19—21	16—18	17—19	—
Восточная Украина, Ростовская область	22—24	21—23	19—21	20—22	—
Западная Украина, Молдавия	23—26	22—25	21—23	22—24	—
Белоруссия, Литва	24—27	23—26	22—24	23—25	—
Латвия, Эстония	25—27	24—26	23—25	24—26	—
Грузия	21—24	20—23	21—23***	22—24	—
Армения, Азербайджан	20—24	19—23	22—24***	23—25	—
Туркмения	14—16	13—15	—	18—21	—
Узбекистан	15—17	14—16	14—16***	15—18	—
Таджикистан	15—18	14—17	—	16—19	—
Киргизия	16—19	15—18	13—15	14—17	—
Западный Казахстан	17—19	16—18	18—20***	20—22	—
Северо-Восточный Казахстан	—	15—18	10—13 8—10**	12—14	—
Южный Казахстан	18—20	17—19	13—15 10—13**	15—16	—

* В Сибири и на Дальнем Востоке затраты исчислены применительно к областным центрам.

** Экибастузский уголь.

*** В отмеченных районах рядовой уголь не является экономически эффективным топливом для новых энергетических установок и может использоваться только при реконструкции действующих установок.

нимума приведенных затрат, которым пользуются проектировщики, с критерием абсолютной эффективности (нормы прибыли), которой руководствуются энергосистемы в хозяйственной практике.

Исследованию также подлежат замыкающие затраты на водные ресурсы, затопляемые земли и другие виды природных ресурсов. Уже выполненные работы свидетельствуют о плодотворности применения принципа замыкающих затрат и рентных оценок для расчетов экономической эффективности с учетом вовлекаемых природных ресурсов.

Необходимо также углубленно изучить динамику замыкающих затрат с учетом режимов топливопотребления.

Существенный интерес представляет разработка методики оценки экономической эффективности объектов и мероприятий комплексного назначения. Здесь теоретической исходной позицией является рассмотрение комплекса как органического целого, где все его части взаимодействуют, существенно изменяя в интересах народнохозяйственного оптимума характеристики и параметры каждого компонента по сравнению с теми, которые он имел бы вне комплекса [Л. 13].

Именно в этом, преобразующем все элементы влиянии комплекса и проистекающем отсюда росте производительности общественного труда состоит экономический смысл мероприятий комплексного назначения. Поэтому естественным мерилom эффективности комплекса является выигрыш в приведенных затратах по сравнению с совокупностью альтернативных обособленных отраслевых объектов:

$$Z_k \leq \sum_{i=1}^n Z_i^{\text{зам}},$$

где Z_k — приведенные затраты комплексного объекта;
 $\sum_{i=1}^n Z_i^{\text{зам}}$ — сумма приведенных затрат, заменяющих комплекс отраслевых объектов.

Естественно поэтому, что включение отдельных участников в состав комплекса может быть признано эффективным, когда оно не снижает уровня экономично-

сти комплекса, рассматриваемого без данного компонента, т. е. $Z_k \leq Z'_k + Z_i^{\text{зам}}$, где Z'_k — приведенные затраты по комплексу при отсутствии компонента i ; $Z_i^{\text{зам}}$ — приведенные затраты альтернативного варианта, заменяющего компонент i комплекса.

Разнесение суммарных затрат между отдельными компонентами комплекса должно, очевидно, производиться в соответствии с принципом пропорционального распределения общего экономического эффекта между отдельными компонентами комплекса. В соответствии с положением это разнесение затрат может производиться пропорционально снижению приведенных затрат по сравнению с альтернативными отраслевыми решениями.

По-видимому, именно на этой основе должен быть устранен методический разнобой, имеющий место в различных отраслях водного хозяйства в вопросах оценки экономической эффективности комплексных и отраслевых решений. Соответствующие разработки особенно необходимы, так как одной из важнейших задач перспективного развития водного хозяйства является нахождение оптимального распределения ограниченных водных ресурсов между отраслями — ирригацией, транспортом, водоснабжением, энергетикой — в соответствии с единым критерием экономической эффективности.

Одним из важных элементов анализа является вероятностный подход к рассмотрению структурных задач развития энергетики. В гидроэнергетике и водном хозяйстве он уже давно внедрен в практику проектирования и эксплуатации. В основе его лежат стохастические закономерности речного стока. Поэтому все энергоэкономические расчеты в гидроэнергетике имеют вероятностную основу. В частности, это относится к одному из важнейших параметров ГЭС (или каскадов ГЭС) — расчетной обеспеченности, в основе нормирования которой лежат экономические расчеты сравнительной эффективности выигрыша мощности в связи с понижением расчетной обеспеченности по сравнению с вероятным ущербом у потребителя в перебойные годы. В последние годы вероятностный подход в энергетическом проектировании расширился.

Существование и решающее значение объективных детерминированных закономерностей в развитии энер-

гетического хозяйства не отрицает наличия многообразных случайных факторов, активно воздействующих на его развитие. К их числу относятся изменения в протекании геофизических процессов, воздействующих на речной сток, температурные условия и т. д.; колебания потребности в различных видах энергии; изменения возможностей выделения материальных ресурсов для развития отрасли, сроки появления и реализации кардинальных технических новшеств; открытие новых месторождений топлива; изменения в структуре потребностей; наступление аварий и т. д. Следствием этого является наличие в энергетике комплекса свойств, делающих невозможным однозначное предвидение будущих условий и способов развития.

В тех случаях, когда на основе статистической обработки данных прошлого возможно установление характеристик распределения вероятностей, выбор наилучшего варианта определяется критерием минимума математического ожидания затрат. В большинстве случаев, однако, сделать это не представляется возможным из-за отсутствия данных прошлого или неправомерности их распространения на будущее. Поэтому окончательный выбор варианта должен производиться в рамках зоны неопределенности оптимального развития рассматриваемого объекта. Ведущиеся в настоящее время и далеко не законченные исследования предлагают заменить для этого случая традиционный критерий критерием минимума экономического риска [Л. 51].

На базе вероятностного подхода строятся также оценки экономически оптимального уровня надежности энергоснабжения. Для этого используются статистические данные надежности элементов энергосистемы, получаемые путем математической обработки статистики аварий оборудования энергосистем. Так например, оптимизация аварийных резервов мощности основывается на использовании биномиального закона распределения вероятностей одновременного аварийного простоя агрегатов электростанций при заданной аварийности отдельного агрегата и показателе удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии. При этом широко используются методы технико-экономических сравнений. Вместе с тем ряд авторов подчеркивает, что ущерб от нарушения надежности или цена надежности имеет вероятностный характер в отличие от единовременных и

текущих затрат, используемых для технико-экономических расчетов. В этих расчетах ущерб нарушения надежности следует рассматривать как математическое ожидание дополнительных ежегодных издержек M , которые при нарушении надежности несет народное хозяйство помимо основных затрат, связанных с сооружением и нормальной эксплуатацией энергообъектов:

$$Z = C + E_n K + M.$$

Однако сейчас нет единой точки зрения на природу этих дополнительных затрат и правомерность использования в расчетах приведенной формулы. Вместе с тем следует, по-видимому, учитывать и характер вводимых в расчет значений нормативного коэффициента эффективности. Невозможность предвидеть факторы однозначно, требует, видимо, вариантного анализа с использованием разных значений E_n , например 0,15; 0,12; 0,07. По нашему мнению, это важно, например, при прогнозировании структуры атомной энергетики на 30—50 лет.

3.3. ОЦЕНКА ОБЩЕЙ (АБСОЛЮТНОЙ) ЭФФЕКТИВНОСТИ

Изложенные выше методы технико-экономических расчетов и оценки эффективности капитальных вложений в энергетике основываются на методах сравнительной эффективности и предназначаются для выбора лучшего решения из множества возможных вариантов. Оптимизационные расчеты призваны обеспечить максимально благоприятное соотношение затрат и результатов для энергетики как отрасли, так и для народного хозяйства в целом.

Само измерение и сопоставление затрат и результатов осуществляется методами общей (абсолютной) эффективности капиталовложений. На разных ступенях хозяйственной иерархии для этой цели применяется система взаимосвязанных показателей.

На уровне народного хозяйства в целом, союзных республик и отраслей народного хозяйства (промышленность, сельское хозяйство, транспорт, строительство) абсолютная эффективность определяется отношением прироста национального дохода (чистой продукции) $\Delta HД$ к капитальным вложениям K .

$$E = \frac{\Delta HД}{K}$$

или отношением всей чистой продукции $HД$ к основным фондам Φ

$$E = \frac{HД}{\Phi}.$$

Применительно к отраслям промышленности и предприятиям оценка абсолютной эффективности производится посредством отношения прироста чистого дохода (прибыли) $\Delta ЧД$ к капитальным вложениям

$$E = \frac{\Delta ЧД}{K}$$

или отношением всей прибыли $ЧД$ к фондам (рентабельность)

$$E = \frac{ЧД}{\Phi}.$$

Рассматривается также возможность использования показателя чистой продукции в планировании и при оценке эффективности капиталовложений в отрасль промышленности, объединение и предприятие. В настоящее время производится экспериментальная проверка целесообразности такого использования и, в частности, для определения абсолютной эффективности капитальных вложений в энергетике.

Важным показателем экономической эффективности капиталовложений и производственных фондов является динамика фондоемкости продукции. В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг., принятых XXV съездом КПСС, указано: «...Разработать и осуществить по отраслям народного хозяйства, на предприятиях и в организациях комплекс мер, направленных на повышение фондоотдачи». Для высококапиталоемких отраслей, образующих топливно-энергетический комплекс, повышение фондоотдачи имеет особо важное значение. В этом направлении будут, например, действовать мероприятия по освоению мощных угольных месторождений Сибири, разрабатываемых открытым способом. Вместе с тем ряд факторов тормозит снижение фондоотдачи на прирост продукции — например, таких, как необходимость значительных затрат на возмещение выбывающих месторождений, одновременных вложений в головные образцы новой техники и др.

Данные табл. 3-2 характеризуют удельные капиталовложения на прирост промышленной продукции.

Таблица 3-2

Удельные капиталовложения на прирост продукции¹

Показатели	Годы				
	1970	1971	1972	1973	1974
Электроэнергия, руб./тыс. кВт·ч	54,1	52,6	59,7	59,7	56,2
Уголь, руб/т	88,0	91,7	113,6	138,1	106,2
Нефть, руб/т	91,4	104,9	118,4	105,0	102,7
Газ, руб./тыс. м ³	55,4	71,8	124,7	82,4	60,0

¹ Хачатуров Т. С. Советская экономика на современном этапе. М. „Мысль“, 1975. 368 с. (Удельная приростная капиталоемкость определена как отношение капитальных вложений предыдущего года к приросту продукции данного года).

Как следует из таблицы, динамика капиталоемкости прироста продукции в отдельных отраслях топливно-энергетического комплекса была в течение рассматриваемого периода неодинаковой, однако в 1974 г. все отрасли комплекса улучшили свои показатели относительно 1973 г. Необходимо вместе с тем отметить, что изменения капиталоемкости (фондоемкости) не полностью характеризуют динамику эффективности капиталовложений, поскольку не учитывают изменений в текущих затратах. В ряде случаев повышение капиталоемкости (фондоемкости) может быть оправдано, если оно обуславливает достаточно значительное снижение себестоимости. Впрочем в электроэнергетике за последнее десятилетие тенденции изменения капиталоемкости и текущих затрат в целом совпадали, хотя в отдельные годы и имели место расхождения [Л. 71].

Мы не рассматриваем здесь дискуссионных вопросов о возможностях и границах использования того или другого показателя общей эффективности на разных ступенях хозяйственной иерархии. Ограничимся для отраслей топливно-энергетического комплекса показателем рентабельности [отношение чистого дохода (прибыли) к капитальным вложениям или основным фондам], для которого имеются статистические данные. Принятые направления капитальных вложений могут считаться эффективными, когда показатели рентабельности оказываются не ниже соответствующего отраслевого нор-

матива. Формирование таких нормативов не закончено, но принципиально отраслевой норматив общей эффективности капиталовложений должен быть установлен на уровне, который обеспечил бы как минимум выполне-

Таблица 3-3

Рентабельность отраслей топливно-энергетического комплекса¹

Отрасли	1970 г.	1971 г.	1972 г.	1974 г.
Вся промышленность	21,5	19,8	19,3	17,7
В том числе:				
электроэнергетика	10,9	10,6	10,2	9,6
угольная	7,3	7,0	6,3	3,5
нефтедобывающая	27,8	27,2	26,0	23,1
нефтеперерабатывающая	22,6	20,6	21,8	24,9
газовая	64,5	57,1	46,0	32,1

¹ Народное хозяйство СССР в 1974 г. М., „Статистика“, 1975. 862 с.

ние обязательств перед государственным бюджетом, расширенное воспроизводство основных фондов, включая плату за фонды и проценты за банковский кредит,

Таблица 3-4

Прибыль в отраслях топливно-энергетического комплекса (млрд. руб.)¹

Отрасли	Годы							
	1970		1971		1972		1974	
	Прибыль	Капитало- вложения	Прибыль	Капитало- вложения	Прибыль	Капитало- вложения	Прибыль	Капитало- вложения
Вся промышленность	56,0	29,3	56,2	30,9	59,4	33,1	64,2	37,6
В том числе:								
электроэнергетика	3,5	3,1	3,8	3,4	3,9	3,4	4,4	3,6
угольная	0,8	1,5	0,8	1,6	0,8	1,7	0,5	1,8
нефтяная	2,4	2,5	2,6	2,8	2,8	3,0	2,9	3,3
газовая	0,7	1,0	0,8	1,1	0,8	1,2	0,9	1,8

¹ Составлена по данным сборников „Народное хозяйство СССР в 1972 г.“, „Народное хозяйство СССР в 1974 г.“ М., „Статистика“, 1973, 1975 гг. 824 с., 862 с.

образование фондов экономического стимулирования и т. п. Данные табл. 3-3 характеризуют фактический уровень рентабельности некоторых отраслей топливно-энергетического комплекса.

Абсолютные размеры прибыли по отраслям комплекса в сопоставлении с капитальными вложениями в эти отрасли видны из данных табл. 3-4.

Таким образом, удельный вес топливно-энергетического комплекса в прибылях промышленности составляет около 14%, а в капиталовложениях в промышленность — примерно 30%. При этом электроэнергетика является отраслью энергетического хозяйства, где размер прибыли превышает годовые капиталовложения. Отсюда следует, что электроэнергетика является самофинансирующейся отраслью.

Вместе с тем анализ направлений технического прогресса, улучшения режимов работы и оптимизации структуры энергосистем и отдельных предприятий свидетельствует о возможностях дальнейшего повышения эффективности энергетического хозяйства.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

4-1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Долгосрочное — на 15—20 лет, а во многих случаях и на больший срок прогнозирование топливно-энергетического комплекса, электроэнергетики и электрификации приобрело в последние годы, особенно в связи с задачами совершенствования управления общественным производством, важное значение.

Необходимость долгосрочного прогнозирования энергетики вытекает из глубокого, долговременного и все возрастающего влияния совокупного общественного производства на масштабы и направления развития энергетического хозяйства и электрификации и обратного воздействия последних на структуру и темпы развития общественного производства в целом. Разработка долгосрочных прогнозов в энергетике важна также и

потому, что цикл подготовки, освоения первичных энергоресурсов, средств их транспортировки, преобразования и использования продолжается длительное время. Высокая капиталоемкость энергетики, широкая взаимозаменяемость энергоресурсов и видов энергии делают особенно важным заблаговременную разработку оптимальной структуры энергохозяйства. Между тем в отличие от текущего и пятилетнего планирования, по которому в СССР накоплен огромный опыт, принципиальные направления и методы составления долгосрочных прогнозов в энергетике в условиях научно-технической революции нуждаются в дальнейшем исследовании.

Как было показано выше, уровень электрификации можно рассматривать как «производную» взаимодействия топливно-энергетического комплекса со всей макросистемой народного хозяйства страны. В этих условиях системный подход, необходимый для всех стадий управления электрификацией, становится одной из важнейших методических основ ее долгосрочного прогнозирования. Применение этого подхода предполагает, что энергетика рассматривается как часть общей народнохозяйственной системы и ее развитие определяется взаимосвязями со всеми остальными отраслями и комплексами народного хозяйства. С другой стороны, сама энергетика должна изучаться как единый комплекс, состоящий из совокупности взаимосвязанных подсистем — газо-, нефте-, угле-, тепло- и электроснабжения, каждая из которых имеет свои сложные внутренние связи. Такой подход вытекает из марксистско-ленинского учения о взаимосвязи объектов материального мира, о взаимозависимости элементов, образующих народное хозяйство страны.

Системный подход предполагает рассмотрение места электрификации в общей иерархии процесса перспективного социально-экономического развития страны.

Необходимым условием долгосрочного прогноза энергетики является установление связей между генеральными целями, главной экономической задачей развития общественного производства; необходимыми для решения этой задачи структурными сдвигами в экономике страны, техническими средствами, на базе которых осуществляются структурные сдвиги; задачами развития энергетики и особенно электрификации, направленными на создание и функционирование технических

средств; наконец, установление обратных связей в этой иерархии. Одна из возможных и упрощенных схем таких взаимосвязей показана на рис. 4-1.

Изучение взаимосвязей общественного производства с энергетикой и в особенности глубиной и уровнем электрификации позволяет не только раскрыть общие тенденции развития орудий труда, но и предвидеть структурные сдвиги в развитии народного хозяйства. Прогнозирование и планирование энергетики как единого целого служит основой для понимания общих и долгосрочных закономерностей развития самого топливно-энергетического комплекса, выявления задач развития энергетики страны и мероприятий по обеспечению этого развития. Особое значение имеет при этом анализ условий и путей формирования топливно-энергетического комплекса и прежде всего соотношений внешних и внутренних связей на каждом этапе прогнозируемого периода. Внешние связи энергетики определяют две важные стороны ее развития: качественную, отражающую состав энергопотребляющих процессов, вытекающий из структуры технологий, и количественную, связанную с масштабами развития экономики. Внутренние связи энергетики проявляются при ее формировании и развитии как единой системы процессов производства, распределения и использования природных и преобразованных источников энергии. Взаимодействие этих двух групп факторов происходит и в процессе выбора энергоносителей¹. Именно здесь больше всего проявляется взаимное влияние энергетики как целого и остальных отраслей народного хозяйства.

Анализ развития энергетики как элемента макрохозяйственной системы требует расчленения единого процесса прогнозирования на отдельные составляющие — «блоки». Построение синтетического энергетического прогноза на основе исследования взаимосвязей между этими блоками является ключевым методологическим принципом долгосрочного прогнозирования в энергетике.

¹ Под энергоносителем здесь и далее понимается непосредственно используемый на стадии конечного потребления, обогащенный, переработанный, преобразованный, побочный энергетический ресурс, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии.

Все составляющие прогноза — блоки можно разбить на две группы — внешнюю и внутреннюю.

К внешней группе относятся блок — гипотеза развития народного хозяйства, которая в свою очередь включает два взаимосвязанных прогноза: прогноз экономического развития и прогноз развития науки и техники. В гипотезе развития народного

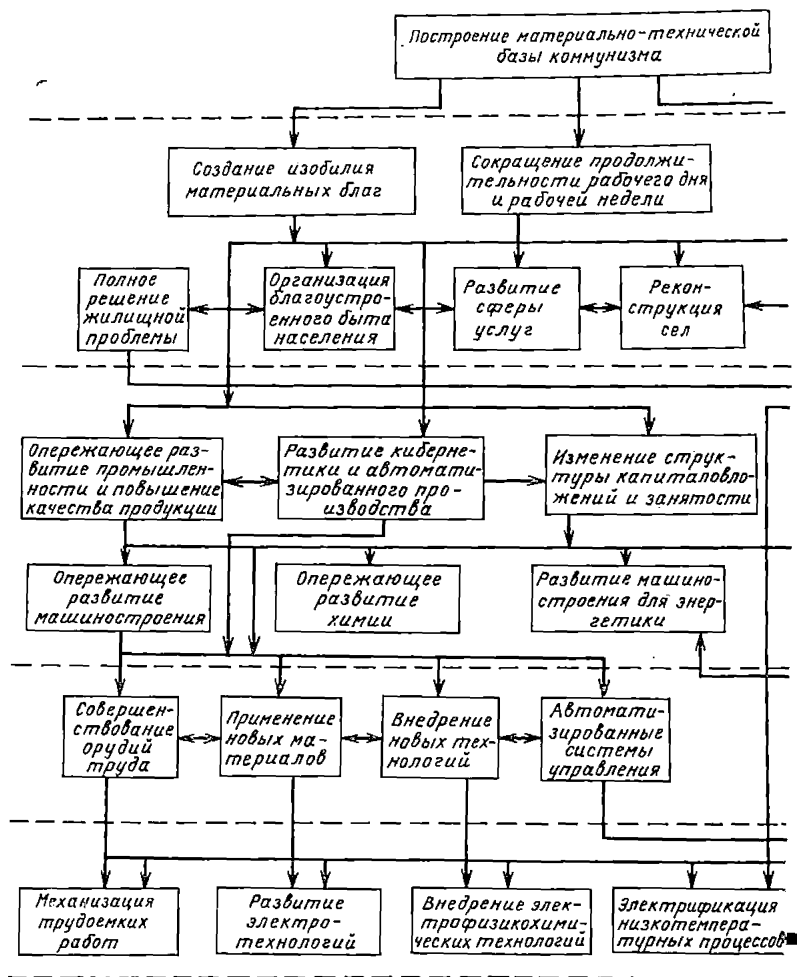
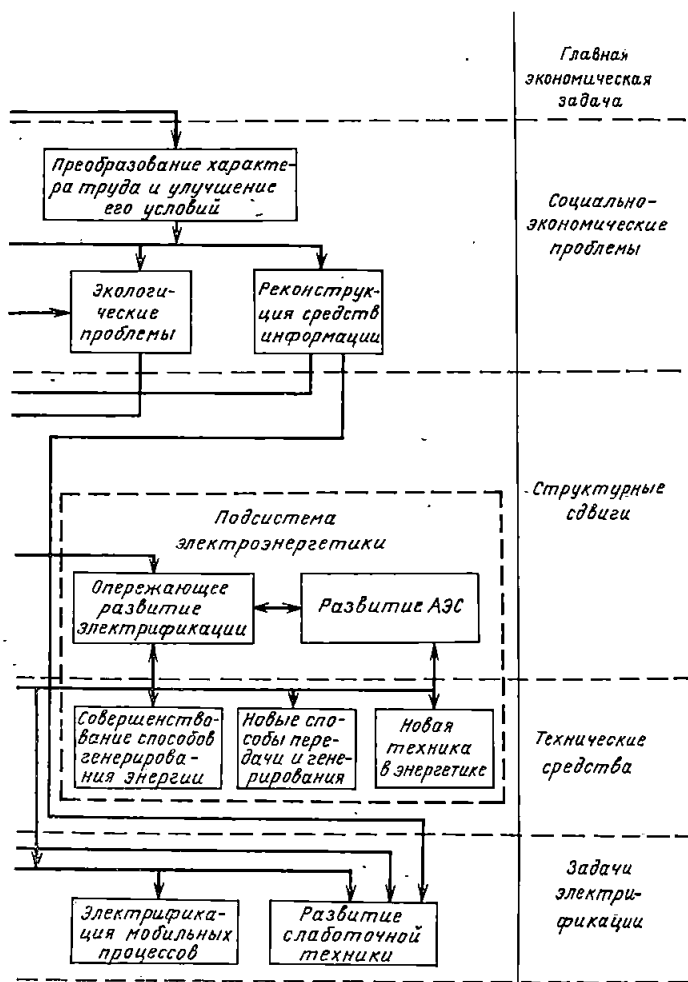


Рис. 4-1. Примерная укрупненная схема связей электроэнергетики
106

хозяйства определяются целевые нормативы прогноза, т. е. количественные оценки целей с учетом их ранжирования по уровням и степени предпочтительности.

Прогноз экономического развития должен раскрыть важнейшие социально-экономические проблемы, решаемые страной в прогнозируемый период времени, исходя из генеральной цели развития общества. С точки зрения



и электрификации в народном хозяйстве.

требований энергетического прогноза необходимо, чтобы намечаемое в прогнозе развитие потребностей, уровня жизни и всех отраслей народного хозяйства, обеспечивающих достижение целей, было предварительно сбалансировано.

Прогноз развития науки и техники должен выявить основные технические средства будущего развития. Эта часть прогноза, учитывая динамизм технического прогресса, должна содержать возможные альтернативы структуры технологий в рассматриваемый период и их технико-экономическую характеристику. Она представляет необходимую для прогнозирования энергетики информационную основу. Здесь также выявляется главная цель развития энергетики как системы, призванной осуществлять «энергетическое обеспечение» роста общественного производства.

Количественные параметры этой цели рассматриваются в блоке прогноза уровня электрификации и потребности в энергоносителях. В этом блоке учитывается взаимодействие внутренних и внешних факторов развития энергетики, определяющее как технологическую структуру общественного производства в целом, так и параметры и структуру развития топливно-энергетического комплекса с учетом внутренних условий его развития. На основании этих исследований прогнозируется уровень электрификации страны и его показатели.

Показатели уровня электрификации могут выражаться как в абсолютных размерах — в удельном количестве потребляемых киловатт-часов, так и в относительных единицах, а именно через коэффициент электрификации, обозначающий долю электроэнергии, потребляемой для данного процесса или совокупности процессов в общем количестве энергии. Коэффициент электрификации может быть определен по полезной и первичной энергии [Л. 126]. Коэффициентом электрификации по полезной энергии называется отношение всей полезной энергии, полученной за счет электрической энергии, к общему количеству полезной энергии, израсходованной для данного процесса или объекта. Коэффициентом электрификации по первичной энергии называется отношение всей потребляемой процессом или объектом электрической энергии к общему количеству подведенной энергии в пересчете на первичную энергию.

Иногда пользуются еще термином «коэффициент полной электрификации», который представляет собой отношение всего потребляемого количества электроэнергии к тому ее количеству, которое потребовалось бы при замене электрической энергией всех других энергоносителей, обслуживающих данный процесс или объект.

С этими основными показателями уровня электрификации тесно связан ряд производных, таких, как электроемкость продукции, электровооруженность труда, электрооснащенность фондов, потребление электроэнергии на душу населения, а также электро-тепловой и электротопливный коэффициенты. Все эти показатели, кроме электрооснащенности фондов, представляют собой отношение потребляемой электроэнергии по данному объекту к другим характеристикам этого объекта: соответственно к производимой продукции, численности трудящихся или рабочих, численности населения, потреблению тепловой энергии (пара или горячей воды), потреблению топлива прямого использования или всей энергии, выраженной в первичном топливе.

Что же касается электрооснащенности фондов, то ее лучше исчислять как отношение электрической мощности, обслуживающей данный объект, к стоимости его основных фондов. При определении электрооснащенности по количеству потребляемой электроэнергии этот показатель становится зависимым от изменения числа часов использования электропотребляющего и технологического оборудования. В этом случае показатель электрооснащенности фондов может использоваться для характеристики загрузки оборудования.

Установление потребности в конечных энергоносителях: электроэнергии, тепловой энергии (паре и горячей воде), топливе прямого использования — дают основу для разработки блока частных балансов преобразованной энергии, прежде всего балансов нефтепродуктов, тепловой энергии и электроэнергии. Задача этого блока состоит в предварительной оценке технологической структуры источников, генерирующих отдельные виды энергии, определении суммарной погрешности в энергетических ресурсах и ее структуры, с учетом ограничений по условиям взаимозаменяемости отдельных видов первичных энергоресурсов. Здесь могут быть также оценены суммарные коэффициенты полезного использования по видам энергетических ресурсов и направлениям конечного использования.

Важным элементом рассматриваемого блока является исследование приходной части баланса электроэнергии, т. е. масштабов, направлений развития и структуры электроэнергетики. Это связано со все возрастающей ролью электроэнергии в развитии общественного производства и вытекающей отсюда задачей возможно большего снижения ее стоимости, а также непрерывным увеличением в общем энергобалансе страны доли энергетических ресурсов, направленных на получение электроэнергии. Совершенствование технического уровня и структуры электроэнергетики открывает все большие возможности ее воздействия на народное хозяйство.

Следующий блок прогноза — выявление технических возможностей и экономических показателей добычи первичных видов топлива и энергии по отдельным бассейнам и месторождениям страны, а также технических возможностей и экономических показателей транспорта топлива и энергии. Основой этих исследований является геологический прогноз, прогноз прироста запасов топлива, прогноз технологий добычи и транспорта топлива и энергии, влияющий как на оценку технических возможностей, так и на экономические показатели добычи топлива и энергии.

Целью исследования всех этих вопросов можно считать получение характеристики приростных изменений экономических показателей добычи топлива. Она является одним из наиболее важных элементов исходной информации для оптимизации топливно-энергетического комплекса.

Заключительным является блок всего топливно-энергетического комплекса, в рамках которого формируются отраслевые и территориальные соотношения в энергетическом хозяйстве. Здесь осуществляется взаимоувязка отдельных подсистем энергетического хозяйства страны и в том числе устанавливаются основные параметры электроэнергетической подсистемы (структура и размещение электростанций, характер и показатели межсистемных связей, режим работы электростанций и т. д.).

Таким образом, в этом блоке, представляющем собой структурную часть прогноза на уровне топливно-энергетического комплекса, осуществляется исследование объективных взаимосвязей отдельных элементов прогноза (гипотеза развития народного хозяйства, технологическая структура и структура энергоносителей, топливно-энергетические ресурсы) с единым долгосрочным прогнозом топливно-энергетического комплекса.

Именно здесь в конечном счете решается главная задача прогноза энергетического хозяйства — выявление условий повышения его эффективности и эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

В этом блоке осуществляется получение замыкающих оценок на топливо. В дальнейшем эти оценки могут быть использованы для решения частных задач —

в области выбора энергоносителей, рационализации структуры оборудования и т. д. На этой основе корректируются балансы преобразованных энергоносителей и технологическая структура генерирующих источников. После этого процесс составления баланса повторяется на более глубоком уровне.

Одной из важнейших частей долгосрочного экономического прогноза является сочетание в нем детерминированных и вероятностных элементов. В прогнозе электрификации на это обстоятельство обращено особое внимание в связи со сложными взаимосвязями, определяющими ее возможные уровни.

Рассматривая этот вопрос с точки зрения марксистско-ленинского учения, следует отметить, что процесс развития электрификации, как и другие социально-экономические процессы в социалистическом обществе, протекающие на основе целенаправленной деятельности людей, вооруженных знаниями экономических законов развития, в целом детерминирован. В этом смысле здесь нет места стохастическому процессу, имеющему дело с равновероятными случайными событиями. Вместе с тем это не означает обязательного наличия жесткой функциональной связи между отдельными параметрами экономических явлений. Однако частные отклонения под влиянием случайных воздействий не нарушают закономерностей общего характера и принципиальных тенденций развития. Можно назвать ряд факторов, обеспечивающих требуемую надежность долгосрочных прогнозов.

Важным фактором, обеспечивающим устойчивость долгосрочных экономических прогнозов в СССР, является генеральная цель развития социалистического общества. Решаемые в процессе достижения генеральной цели важнейшие социально-экономические задачи имеют детерминированный характер. Он вытекает из их объективной взаимосвязи с целями развития. На устойчивость прогноза существенно влияет также значение тенденций и направлений структурных и технологических сдвигов в общественном производстве, которые в большей мере определяются содержанием социально-экономических задач.

К их числу относятся:

опережающее развитие промышленности по отношению ко всему материальному производству, обеспечи-

вающее техническое перевооружение всего народного хозяйства;

опережающее развитие автоматизации производства, обеспечивающее ускорение производственных процессов и повышение производительности труда;

увеличение технической вооруженности сельского хозяйства и превращение его в современную индустриальную отрасль общественного производства и ряд других направлений.

Факторами, обеспечивающими устойчивость прогнозов, являются и сдвиги внутри промышленного производства, определяющие его техническое перевооружение и высокие темпы научно-технического прогресса. К числу таких сдвигов относятся, например, опережающее развитие машиностроения, внедрение в народное хозяйство цветных металлов, более быстрые темпы развития химической промышленности по сравнению с общим развитием промышленного производства и т. д.

Все эти тенденции объективно обусловлены научно-технической революцией, а через их посредство осуществляются в народном хозяйстве взаимосвязи по схеме: генеральная цель развития — социально-экономические задачи — структурные сдвиги — технические средства.

Соответственно этим тенденциям формируется ряд объективных закономерностей развития энергопотребления и топливно-энергетического комплекса в целом. К этим закономерностям относятся: резкое увеличение потребления энергии и особенно электроэнергии в расчете на душу населения; повышение доли энергии, используемой в народном хозяйстве в преобразованном виде; общее повышение к. п. д. использования энергетических ресурсов; увеличение уровня концентрации и централизации производства электроэнергии, опережающее развитие атомной энергетики, и др.

Одним из факторов, повышающих устойчивость прогноза, является наличие государственных резервов материальных ресурсов, а также резервов производственных мощностей, призванных компенсировать случайные воздействия на экономический рост, и вызываемые этим отклонения от принятых программ развития.

Вместе с тем признание причинно-обусловленного характера взаимосвязей в народном хозяйстве еще не означает, что долгосрочный или даже краткосрочный прогноз не должен учитывать влияния факторов, имею-

щих вероятностную основу. Прежде всего на состояние экономической системы могут оказывать влияние природные условия, в которых протекают экономические процессы. Вторгаясь в сферу этих процессов, причинно-случайный характер природных явлений приносит вероятностный элемент в экономику, которая в целом не является стохастической средой. Известно, например, что колебания погодных условий отражаются на потреблении энергетических ресурсов и электроэнергии, на распределении выработки электроэнергии между гидравлическими и тепловыми электростанциями. Так, в настоящее время понижение температуры на 1° С зимой в среднем по СССР приводит к дополнительному расходу в народном хозяйстве 7—8 млн. т топлива.

Как показывает история науки, случайный — по крайней мере во времени — непредсказуемый характер могут иметь крупные научные открытия. Их промышленная реализация в этом случае может вносить непредвиденные сдвиги в структуру технологий, методы ведения производственных процессов, менять экономические и энергетические характеристики последних.

Для долгосрочных экономических прогнозов, к которым относится прогноз развития электрификации и энергетики, характерна некоторая неопределенность, зависящая и от состояния информации, т. е. от уровня знаний закономерностей и параметров рассматриваемых процессов. Однако, очевидно, что по мере увеличения знаний информация становится все более полной, а ее накопление происходит за счет вторжения науки во все новые и новые области.

Различное состояние информации приводит к тому, что надежность прогноза во многом зависит от срока, на который ведется прогнозирование, и степени научной разработанности для него технико-экономической информации. Неполнота информации объективно определяет возможную погрешность в решениях. Эта погрешность внешне может иметь вероятностный характер. Однако из этого не вытекает, что сами исследуемые процессы обязательно являются стохастическими. Вероятностная оценка в экономических прогнозах — это оценка не только и не столько вероятности события,

сколько вероятности (надежности) суждений, которые зависят от полноты информации¹.

Вероятностные проявления в экономических системах носят в целом относительно ограниченный характер. Вместе с тем наличие неполной и неопределенной информации требует для долгосрочного прогнозирования применения иных методов, чем при краткосрочном прогнозировании. При прогнозе на основе неопределенной или вероятностной информации рекомендации, полученные в результате исследования экономических процессов, не могут быть однозначными.

Именно поэтому необходимо прогнозирование различных вариантов развития с тем, чтобы уменьшить неизбежный риск при выборе решений. Должна быть исследована устойчивость решений, то есть выявлены такие рекомендации, которые могут иметь место при всех возможных вариантах развития.

Вариантный принцип прогнозирования предполагает известную свободу в выборе альтернатив развития. Как известно, она увеличивается с удалением во времени от исходной точки прогноза, т. е. по мере сокращения влияния инерционных и возрастания роли динамических факторов развития. Применительно к энергетике гипотеза развития народного хозяйства является в значительной мере детерминированной, по крайней мере в части целей и задач развития и основных структурных сдвигов. Альтернативы появляются при выборе технических средств, необходимых для реализации этих структурных сдвигов, направлений развития, глубины и уровней электрификации отдельных процессов и страны в целом, развития самого энергетического хозяйства.

4-2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА УРОВНЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Универсальный характер электрификации определяет принципиальную возможность более полного по сравнению с другими видами энергии информационного обеспечения прогноза потребности в электроэнергии и позволяет вести разработку этого прогноза многими методами. При этом выбор методов прогнозирования

¹ Наиболее часто такие оценки практикуются в прогнозах о возможности и сроках наступления того или иного события, например открытия или нового технического решения.

определяется его целями, сроками прогнозов и имеющейся в данное время информацией. Из многих методов и их модификаций, используемых для долгосрочных прогнозов, можно выделить комплекс методов, принятый в странах — членах СЭВ. Этот комплекс включает: корреляционные методы, в том числе экстраполяцию временных рядов, одно- и многофакторную корреляцию; методы международных сравнений; эвристические методы, в том числе метод «Дельфи»; метод прямого счета; технологический метод¹.

Корреляционные методы

Простейшим корреляционным методом, где в качестве аргумента выступает время, является экстраполяция временных рядов.

Сущность метода состоит в определении уравнения теоретической кривой $\mathcal{E} = f(t)$, где $\mathcal{E}$ — потребление электроэнергии за прошедший период t_n времени, и в ее экстраполяции на прогнозируемый период $t_{пр}$. Достоинство метода заключается в простоте и малых требованиях к информации: в среднем на один показатель и год прогноза число единиц информации может не превышать 2—4. Однако для правильного выбора базисного периода и, главное, формы связи требуется специальная социально-экономическая информация о прошедшем периоде и будущем развитии.

Базой для исследований служат статистические наблюдения реализованного электропотребления в течение продолжительного срока t_n . Считается, что соотношение между t_n и $t_{пр}$ должно удовлетворять выражению

$$t_{пр} \leq (0,3 \div 0,4) t_n.$$

Применение экстраполяции временных рядов для прогнозов потребления электроэнергии, как и для других экономических процессов, осуществляется при условии, что поведение прогнозируемой системы в прошлом может являться основой для ее будущего развития. В общих чертах это очевидно до тех пор, пока система не подвергается радикальным изменениям. Именно по-

¹ Группировка методов в известной мере условна. Так, многие из методов международных сравнений основаны на исследовании корреляционных связей. Обработка прогнозов, выполненных эвристическими методами, часто ведется с помощью корреляционных зависимостей.

этому экстраполяция временных рядов может использоваться в первую очередь для кратко и среднесрочных прогнозов глобальных показателей потребления электроэнергии страны в целом, района, отрасли народного хозяйства.

Прогнозирование с помощью временной экстраполяции на отдаленный период может привести к большим ошибкам (табл. 4-1).

Таблица 4-1

Результаты ретроспективных прогнозов потребления электроэнергии в ряде капиталистических стран на 1967 г.*

Страна	Функция	Базисные годы ($t=0$ для 1900 г.)	Прогноз, млрд. кВт·ч	Отчет, млрд. кВт·ч	Отклоне- ние от фактиче- ских зна- чений, %
Весь мир	$\mathcal{E} = 8,6 - 1,53 t + 0,365 t^2$	1900—1930	1545	3803	+146
США	$\mathcal{E} = 33,19 + 1,11 t + 0,317 t^{2,3}$	1902—1930	580	1314	+127
Швеция	$\mathcal{E} = 0,89 - 0,004 t + 0,036 t^{1,6}$	1913—1930	30,6	53,8	+75
Норвегия	$\mathcal{E} = 154 - 42,44 t + 79,17 t^{1,4}$	1901—1930	25,5	52,8	+107

* Теория и практика прогнозирования науки и техники в странах—членах СЭВ. М., „Экономика“, 1971, с. 308—309.

Метод экстраполяции временных рядов имеет и другие серьезные недостатки. Потребление электроэнергии определяется здесь только как функция времени и не связано с показателями развития народного хозяйства и его технологической структуры. Отсутствует возможность анализа условий и структурной характеристики потребления электроэнергии. Наконец временная экстраполяция не дает основы для технико-экономических оценок и выбора вариантов уровней электрификации и потребления электроэнергии.

В связи с изложенным методы экстраполяции временных рядов можно рекомендовать при долгосрочном прогнозировании только как вспомогательные — для предварительной информации — или при недостатке данных для использования других более надежных методов.

Основанием для использования методов одно- и многофакторной корреляции является возможность выделения из множества факторов, которые влияют на уровень электрификации, одного или нескольких, находящихся в корреляционной связи с потреблением элек-

троэнергии. Для них составляются уравнения вида $\mathcal{E}=f(p)$ или $\mathcal{E}=f(p, q, u, \dots, t)$, где p, q, u, t — народнохозяйственные показатели.

Перспективные значения народнохозяйственных показателей принимаются по директивным материалам и из расчетов, полученных при разработке народнохозяйственных прогнозов.

Выбор народнохозяйственных показателей, включаемых в уравнение, должен проводиться на основе экономического анализа, направленного на выявление взаимосвязи между этими показателями и потребностью в электроэнергии.

Для прогнозирования потребности в электроэнергии корреляционными методами можно рекомендовать, например, следующие показатели¹:

1) для общих прогнозов — национальный доход и совокупный общественный продукт (абсолютные значения и удельные — на одного жителя); производительность труда; численность населения; численность занятых в народном хозяйстве; основные фонды;

2) для отраслей народного хозяйства: промышленность — валовая продукция, численность занятых, основные производственные фонды, производительность труда; транспорт — грузооборот, пассажирооборот, капитальные вложения; сельское хозяйство — валовая продукция, производительность труда; быт и сфера обслуживания — фонд потребления национального дохода, потребительский бюджет, фонд заработной платы, жилой фонд (абсолютные значения и удельные — на одного жителя), капитальные вложения в сферу обслуживания.

Применение корреляционных методов возможно, если выполнены следующие условия:

вскрыта за отчетный период постоянная и логически обоснованная корреляционная связь между основными показателями и потреблением электроэнергии;

осуществлен достоверный прогноз динамики основных показателей развития народного хозяйства на перспективу.

¹ Применительно к многофакторной корреляции важно, чтобы отсутствовали взаимосвязи между показателями — аргументами корреляционной функции. В противном случае невозможно выявить влияние каждого показателя на прогнозируемую величину.

Примеры уровней парной корреляции, полученных на основе изучения динамики показателей производительности и электровооруженности труда за 1960—1970 гг., были приведены в гл. 2 (стр. 41). По этим уравнениям нами выполнен прогноз электровооруженности труда по черной металлургии и машиностроению СССР на 1980 г. На основе полученных данных и значений перспективной численности занятых было рассчитано также потребление электроэнергии для указанных отраслей.

Полученные с помощью приведенных уравнений показатели перспективного электропотребления хорошо совпадают со значениями, полученными прямым счетом, %:

	Черная ме- таллургия	Машино- строение
Потребление электроэнергии на 1980 г., полученное методом прямого счета	100	100
Потребление электроэнергии на 1980 г., полученное с помощью уравнений парной корреляции	104	94

Близкие показатели были получены при условии, что $t_{пр} = t_n$. Очевидно, в данном случае связь между величинами $\mathcal{E}_в$ и $\Pi_т$ оказывается достаточно устойчивой на протяжении всего периода $t_{пр} + t_n$.

Преимущество корреляционных методов по сравнению с экстраполяцией временных рядов состоит в том, что они дают возможность до известной степени объяснить развитие исследуемых величин. Однако здесь ограничены возможности структурного анализа потребления электроэнергии; нельзя прямо учесть перспективные технические и социально-экономические сдвиги в народном хозяйстве, дать экономическую оценку прогнозируемой величины. Вместе с тем корреляционные методы, используемые для приближенных прогнозов, позволяют предъявлять относительно скромные требования к информации: при однофакторной корреляции на один прогнозируемый показатель требуется 8—10 единиц информации; для многофакторной — число единиц информации увеличивается в соответствии с числом факторов, используемых в прогнозе. Однако для выбора форм связи и анализа результатов прогноза электропотребления необходимо иметь дополнительную информацию о со-

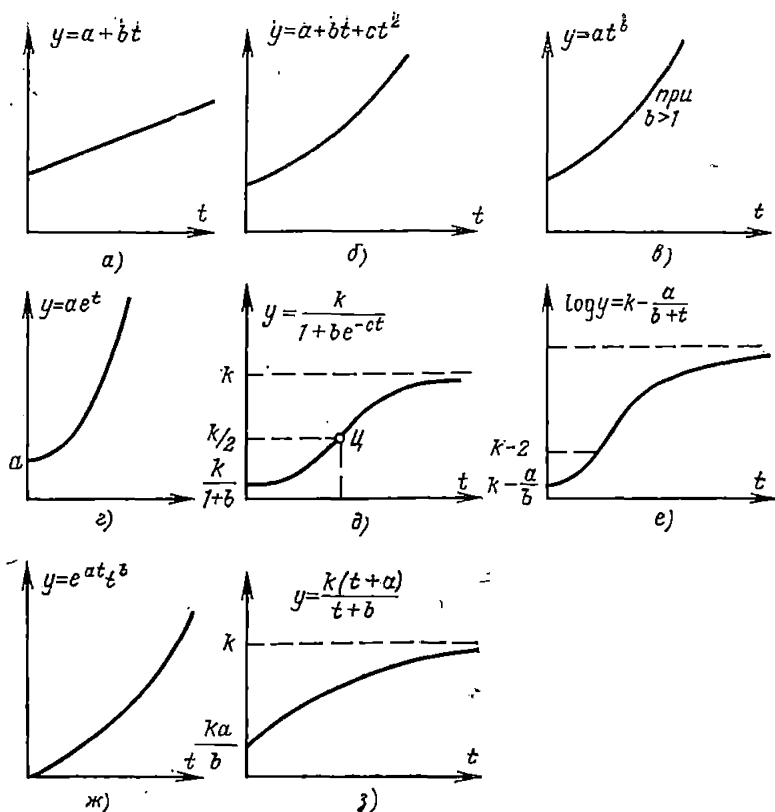


Рис. 4-2. Наиболее характерные функции для экстраполяции электропотребления во времени.

a — линейная; $б$ — квадратическая; $в$ — степенная; $г$ — экспоненциальная; $д$ — логистическая ($Ц$ — центр симметрии функции); $е$ — функция Джонсона; $ж$ — комбинированная экспоненциально-степенная; $з$ — вторая функция Торквиста.

стоянии и перспективах развития народного хозяйства или рассматриваемой отрасли.

Для широкого использования корреляционных методов в институте «Энергосетьпроект» создан комплекс соответствующих программ. Они позволяют рассчитывать потребление электроэнергии по следующим моделям: непосредственная экстраполяция временных рядов (по комплексу уравнений), однофакторная модель (по

комплексу уравнений), многофакторная нелинейная модель.

Последняя выглядит следующим образом:

$$\mathcal{E}_t = 10^{-4} \cdot 0,4807 H_t^{2,5552} \cdot D_{nt}^{0,4374} \cdot K_t^{0,3841},$$

где $\mathcal{E}_t$ — общее электропотребление СССР в году t ; H_t — население; D_{nt} — национальный доход; K_t — капитальные вложения в народное хозяйство.

Входящие в комплекс алгоритмы и программы позволяют вычислять параметры прогнозных моделей различного типа, оценивать их качество и осуществлять по ним прогноз на заданную перспективу. Оценка надежности прогноза осуществляется по следующим показателям:

коэффициенту корреляции, корреляционному отношению, среднему квадратичному отклонению σ , среднему линейному отклонению, коэффициенту вариации, критерию криволинейности связи, абсолютным и относительным ошибкам прогноза, частотам получения относительных ошибок определенной величины.

Для получения обобщенных прогнозов по группе уравнений или в целом по группе методов, входящих в комплекс, использован так называемый коэффициент доверия k , являющийся качественным индикатором надежности. В общем виде он является величиной, обратно пропорциональной среднему квадратичному отклонению.

Для применения корреляционных методов при про-

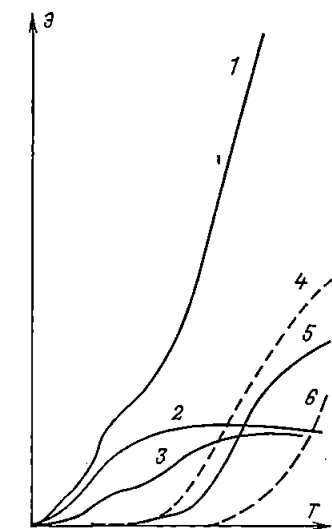


Рис. 4-3. Принципиальные тенденции роста электропотребления.

1 — обобщенная кривая роста; 2 — традиционные силовые процессы; 3 — высокотемпературные; 4 — низкотемпературные; 5 — силовые мощности; 6 — новые.

гнозировании потребности в электроэнергии особенно большое значение имеет анализ форм связи и динамики электропотребления. Сложность заключается в том, что они могут в перспективе трансформироваться под воз-

действием внешних факторов. Так, линейная форма роста электропотребления, предполагающая постоянную производную, характерна для эволюционного периода развития народного хозяйства. При этом область использования электроэнергии не расширяется, а динамика потребления электроэнергии соответствует экстенсивному пути развития техники. Весьма характерным бывает, например, рост потребления электроэнергии по логистической кривой (рис. 4-2). Она отражает сначала рост, а затем стабилизацию уровня электрификации народного хозяйства для данного периода технического развития страны.

По нашему мнению, обобщающая кривая роста потребления электроэнергии для современного и перспективного периодов может быть представлена в виде сложной функции, состоящей из набора функций типа логистических функций Гомперца и т. п. При этом она приближается в целом к показательной функции от времени (рис. 4-3). Эта кривая отражает обусловленные возможностями научно-технической революции темпы развития производительных сил и электрификации общественного производства, охватывающей все новые и новые процессы.

Методы международных сравнений

Методы международных сравнений состоят в обобщенной оценке перспективного электропотребления, основанной на аналогиях развития электрификации прогнозируемой страны с другими странами.

Перспективное потребление электроэнергии определяется графическим путем; при этом учитывается разрыв во времени, который существует в исходном году между страной, для которой ведется прогноз, и рассматриваемыми странами. Прогноз определяется как осредненное значение нескольких графических решений. В целом для СССР применение этого метода не дает надежных результатов, так как нет стран, которые не отличались бы от нашей страны по социально-экономической структуре или запасам топливно-энергетических ресурсов, объемам и темпам роста основных показателей развития народного хозяйства и энергетики. Попытка переноса закономерностей развития электрификации, которые уже сложились или складываются в развитых странах, независимо от социально-экономической структуры, особенностей природных условий и хозяйственного развития рассматриваемой страны также может привести к ошибочным выводам.

На рис. 4-4 показана группировка стран (которые вместе производят в настоящее время свыше 90% всей вырабатываемой в мире электроэнергии) по коэффициентам опережения роста выработки

электроэнергии по отношению к росту производства промышленной продукции. В странах, имеющих коэффициент опережения более 1, за период 1960—1971 гг. было получено свыше 84% электроэнергии от всей выработки рассматриваемых стран, 76,3% выработки было получено с коэффициентом опережения в интервале 1—1,6; 7,8% с коэффициентом опережения более 1,6 и только 15,9% — с коэффициентом опережения меньше 1. Однако установить какую-либо закономерность попадания отдельных стран в ту или иную группу трудно.

Следует отметить, что вообще необходимо осторожно пользоваться опытом зарубежных стран для прогнозирования тенденций электрификации в СССР. Это особенно касается некритического ис-

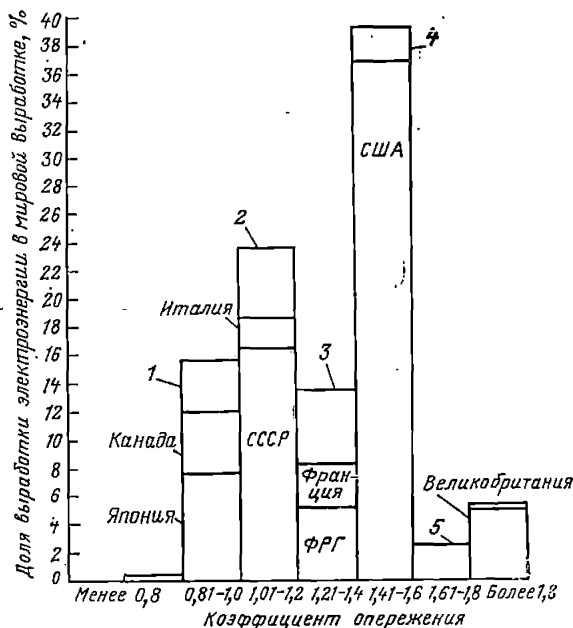


Рис. 4-4. Структура мировой выработки электроэнергии за период 1960—1971 гг. по степени опережения роста производства электроэнергии над ростом промышленной продукции.

1 — ГДР, Венгрия, Польша, Австрия; 2 — Чехословакия, Испания, Португалия, Швеция, Швейцария, Новая Зеландия; 3 — Болгария, Румыния, ДРВ, Югославия, Норвегия, Мексика и др.; 4 — Бельгия, Финляндия, Индия; 5 — Австралия, ЮАР, Ирландия.

пользования опыта электрификации США — страны, которая относительно близка СССР как по общей мощности производственного аппарата, так и по структуре энергетических ресурсов. Сопоставление СССР и США правомерно только тогда, когда оно делается с учетом социально-экономических различий между этими странами и когда учитываются все основные аспекты, определяющие структуру используемых в различных отраслях народного хозяйства

энергоносителей, включая сюда и особенности природных условий обеих стран. В институте «Энергосетьпроект» было проведено сопоставление уровня электрификации и масштабов потребления электроэнергии в СССР и США. Оно показало, что с учетом развития в СССР высокоэффективных систем централизованного теплоснабжения и различий в климатических условиях масштабы потребления электроэнергии в СССР (при равном с США производстве промышленной продукции) могут быть существенно ниже, чем в США, без ущерба для эффективности народного хозяйства, условий труда и жизни людей.

Методы международных сравнений более подходят для прогнозирования показателей электрификации в отдельных отраслях народного хозяйства и отдельных процессах, технические тенденции развития которых в СССР и других странах могут быть более близкими.

Однако и в этом случае необходим тщательный анализ условий развития электрификации в СССР и других странах.

Эвристические методы

Среди эвристических методов прогноза наибольшее распространение за рубежом получил метод коллективной экспертной оценки — «Дельфи». В СССР этот метод начал применяться для составления прогнозов электропотребления. Его детальное описание имеется в [Л. 103] и других источниках. Поэтому ограничимся изложением только основных принципов этого метода.

При определении перспективной потребности в электроэнергии метод «Дельфи» может найти применение в основном в следующих случаях: для оценки времени наступления и величины прогрессивных сдвигов в технологии производственных процессов и, как следствие этого, изменений в структуре энергоносителей; при определении потребности в электроэнергии народного хозяйства страны или отдельных отраслей; для оценки структуры потребности в электроэнергии на перспективный период.

Соответственно этим трем случаям составляются анкеты-вопросы так, чтобы можно было выразить все элементы опроса в количественной форме.

Для этого можно использовать 10-балльную шкалу. Участвующим в работе экспертам предлагается высказать мнение о степени своего знакомства с рассматриваемой проблемой и оценить степень знакомства с ней каждого из других экспертов (предполагается, что эксперты хорошо знакомы с работами друг друга). Эксперты также заполняют ряд таблиц, характеризующих их компетентность, а также таблицу с оценкой роли аргументов (интуиция, собственные расчеты, знание работ других авторов и т. п.), на основе которых они формируют свое мнение.

Обработанные материалы первого тура экспертизы рассылаются экспертам вместе с новой анкетой. В ней на основе опыта, полученного в первом туре, корректируются старые и могут быть заданы новые вопросы, помогающие эксперту аргументировать свое мнение. Обычно делаются 2—4 тура опроса, в результате которых эксперты дают достаточно обоснованное мнение о поставленных перед ними проблемах.

Институтом «Энергосетьпроект» были в 1973—1974 гг. проведены два тура коллективной оценки перспектив электрификации

быта в СССР¹. В первом туре разброс крайних оценок экспертов составлял $\pm 25-30\%$ от обобщенной оценки. Во втором туре, получив обобщенную оценку своих ответов, большинство экспертов сочло возможным присоединиться к ней. Верификация экспертного прогноза технологическим методом и методом экстраполяции показала большую сходимость дельфийской оценки с прогнозами, полученными этими методами.

Метод прямого счета

Методом прямого счета прогнозируют удельные расходы электроэнергии, исчисленные на единицу продукции в натуральном или стоимостном выражении, единицу работы, одного жителя и т. д. Определение удельных расходов электроэнергии может основываться на выборе технологий, а в ряде случаев — на экстраполяции. Метод прямого счета может считаться модификацией технологического или экстраполяционного метода.

На практике доля нормируемых видов продукции отраслей народного хозяйства составляет не более 60—70% общего электропотребления. Ненормируемая часть электропотребления определяется методами математической статистики. Прямой расчет электропотребления на перспективу можно вести по выражению:

$$\mathcal{E}_{(t)}^c = \sum_{\substack{i, j, r=1 \\ I, J, R}}^{\substack{I, J, R}} (\Pi_{(t)i, j, r} \mathcal{E}_{(t)i, j, r}) + \\ + \sum_{i, j=1}^{I, J} \mathcal{E}_{(t)i, j}^n + \sum_{m=1}^m (H_{(t)} N_{(t)m}),$$

где $\mathcal{E}_{(t)}^c$ — электропотребление народного хозяйства в год t ; i — отрасли народного хозяйства ($i=1, 2, \dots, I$); j — подотрасли народного хозяйства ($j=1, 2, \dots, J$); r — виды продукции ($r=1, 2, \dots, R$); $\Pi_{(t)i, j, r}$ — объем выпуска продукции вида r подотрасли j отрасли i ; $\mathcal{E}_{(t)i, j, r}$ — удельный расход электроэнергии на выпуск продукции вида r подотрасли j отрасли i ; $\mathcal{E}_{i, j}^n$ — ненормируемый расход электроэнергии в подотрасли j отрасли i ; H — население; m — энергетические процессы быта и сферы обслуживания: освещение, приготовление пищи, силовые процессы, приготовление горячей воды и т. д.; N_m — удельный расход электроэнергии (на одного жителя) на нужды быта и сферы обслуживания по процессу m .

¹ См. приложение 1. Анкета 1-го тура опроса экспертов.

Для оценки суммарного потребления электроэнергии по стране в целом прямым счетом требуется 200—400 единиц информации на 1 прогнозный показатель в год. Сюда включаются данные об объемах производства продукции и услуг по 40—50 позициям и значительно большая информация об удельных расходах электроэнергии при условии, что последние определяются только путем экстраполяции в сочетании с экспертной оценкой технологических сдвигов в производстве, т. е. без выбора технологий и энергоносителей. Это обстоятельство предполагает накопление данных о динамике основных показателей развития народного хозяйства и удельных расходов электроэнергии. В зависимости от области применения метода информация собирается не только по народному хозяйству в целом, но его территориальным и функциональным подразделениям: районам, республикам, даже отдельным предприятиям.

Метод прямого счета обладает рядом значительных преимуществ — детализацией элементов прогнозирования и, как следствие этого, возможностями структурного анализа прогнозов. В настоящее время он является основным при прогнозировании и планировании потребности в электроэнергии и других видов энергии в СССР. Вместе с тем этот метод в том виде, в каком он используется, характеризуется одним существенным отрицательным качеством: отсутствием достаточной экономической и социальной обоснованности применяемых нормативов. Эта обоснованность может быть получена, если прямой счет будет дополнен технологическим методом прогноза.

Технологический метод

В современных условиях динамичного развития народного хозяйства, его энергетической базы и электрификации прогнозирование уровней энерго- и электропотребления на основе рассмотренных выше методов становится все менее продуктивным. Эти методы не решают основных задач прогноза — выявления новых факторов роста электропотребления и электрификации страны, так как оторваны от важнейшей основы электрификации — технологической структуры народного хозяйства. Именно поэтому важна разработка приемов и на-

копление информации для использования наиболее строгого и эффективного метода прогнозирования — технологического.

По существу этот метод является разновидностью нормативного, он обеспечивает, в отличие от других подходов, учет того, на каких конкретно производственных сдвигах в народном хозяйстве должна развиваться электрификация и какие требования предъявляются при этом к эффективности и структуре собственно энергетического хозяйства. Только с помощью технологического метода полностью реализуются главные принципы и методологические основы прогнозирования электрификации страны. Его основное содержание, раскрывающееся при выборе видов энергии, состоит в определении уровня электрификации и масштабов потребления электроэнергии на основе сопоставления вариантов технологий и оптимизации всей технологической структуры производства материальных благ и услуг.

О подобном подходе к электрификации говорил В. И. Ленин в цитируемом выше письме к Г. М. Кржижановскому от 14 марта 1920 г. (см. с. 77).

Это сопоставление, как уже указывалось в гл. 3, предполагает соизмерение всей суммы затрат на электрификацию и результатов от ее развития с учетом потребительского эффекта. Такое соизмерение является принципиальной основой технологического метода. Его преимущество заключается в возможности вскрыть закономерности формирования структуры технологий и видов энергии и, следовательно, обосновать в социальном и экономическом плане прогнозируемые уровни электрификации и масштабы потребления электроэнергии практически для любого функционального или территориального звена народного хозяйства и всей системы советской экономики в целом.

Обоснование применения технологического метода прогнозирования изложено в гл. 7. Ниже рассматриваются методологические приемы, связанные с использованием этого метода.

Прежде всего необходимо провести классификацию технологий развития народного хозяйства. Очевидно, что для прогнозирования структуры видов энергии и уровней электрификации такая классификация должна быть построена по функциональному признаку, т. е. по направлениям использования энергии, по типам энерге-

тических процессов. Можно выделить технологии, основывающиеся на механическом воздействии на агенты производственного процесса (включая простое перемещение предметов, орудий труда и людей); на физической (прежде всего тепловой) обработке предметов труда; на химических, а также новых, в том числе электрофизических и электрохимических, процессах. В отдельную группу целесообразно выделить технологии, связанные с созданием сред для производства, труда, жизни населения (искусственное освещение, искусственный климат зданий и т. д.). В качестве первого приближения может быть предложен сокращенный вариант такой классификации — в целом для народного хозяйства (приложение 2).

Следующий этап прогнозирования состоит в исследовании взаимозаменяемости технологий и выявлении их конкурентоспособности. Он предполагает исключение из дальнейшего рассмотрения наборов технологически взаимозаменяемых вариантов, если очевидна неэффективность одного из них. Например, в районах с большой концентрацией и плотностью тепловых нагрузок при современных затратах на топливо и электроэнергию, как они показаны в официальных материалах [Л. 92], отопление жилых домов и общественных зданий от местных электрических установок заведомо неэффективно. Его следует осуществлять с помощью горячей воды, получаемой от ТЭЦ или крупных котельных.

Остаются варианты, которые требуют экономического сравнения. Одна из возможных форм для сравнения взаимозаменяемых технологий дана в приложении 3.

В идеальном случае в целом для народного хозяйства должно рассматриваться около 200 наборов по 2—4 варианта в каждом. Каждый вариант характеризуется с учетом дополнительных данных (по объему производства, качеству продукции и т. п.), примерно 40 показателями. Отсюда ясно, что технологический метод предъявляет особенно высокие требования к информации. На каждый рассматриваемый уровень при прогнозе в целом по народному хозяйству требуется около 20 000 показателей. Это соответствует 100—150 показателям на один набор, сравнение внутри которого позволяет оценить эффективность использования электроэнергии в данной технологии и объем ее потребления.

При этом принципиальное значение имеет получение достаточно полной исходной информации, в особенности вариантных показателей по стоимости и возможностям производства оборудования. По нашему мнению, сбор и разработка такой информации являются одной из первоочередных задач. Это особенно важно, так как технологический метод прогнозирования содействует выбору рациональной технологической структуры общественного производства и направлений технического прогресса в народном хозяйстве. До того как сбор и создание необходимой информации будут осуществлены, технологический метод может быть использован для сравнения вариантов и технологий в частных задачах.

Одним из видов вариантного подхода к оценке показателей может быть определение их *предельных значений*. Это позволяет установить условия, при которых в производство включается та или другая технология. Этот подход соответствует главным целям долгосрочного прогноза уровня электрификации — выявлению условий перехода количественных изменений в качественные и оценки предпосылок и примерных сроков существенного изменения структуры технологий и энергоносителей. В результате можно получить несколько вариантов прогноза при разных исходных показателях. Приведем два примера.

Пример 1. Вариантно можно рассматривать новые способы получения цемента, например электрообжиг в плазменной струе, производство клинкера в электропечах, электронно-лучевая технология. Эти способы позволяют упростить технологическую схему производства клинкера и цемента и повысить культуру производства. Однако их разработка находится на такой стадии, когда не имеется надежной информации о технико-экономических показателях. Известно, что потребление электроэнергии на 1 т цемента при обжиге клинкера в электропечах достигает 1000—1100 кВт.ч при содержании клинкера в цементе 80%. Это примерно на порядок выше, чем при традиционных мокром и сухом способах производства цемента. Вместе с тем в новых методах электроэнергия практически полностью заменяет технологическое топливо.

Удельные капиталовложения на производство цемента на новых заводах в зависимости от способа производства равны 27—32 руб. на 1 т продукции, а эксплуатационные издержки — соответственно 5,2—6,1 руб./т. Приведенные затраты (без энергии) на 1 т цемента, произведенного по мокрому способу, составляют (при коэффициенте эффективности 0,12) 9,3—10,9 руб.; в энергетическую составляющую традиционных методов производства цемента приведенные затраты при современных и перспективных на 10—12 лет вперед замыкающих затратах на топливо и электроэнергию, по имеющимся официальным материалам [Л. 92], равны: по топливу 4,8—5,7 руб/т

и электроэнергии 1,3—1,5 руб/т. Суммарные приведенные затраты на производство цемента составляют 15,4—18,1 руб/т.

При переходе к электротехнологии при современных замыкающих затратах на электроэнергию (с учетом передачи до потребителя), равных 1,3 коп/(кВт·ч), дополнительные приведенные затраты составят $900 \times 1,3 - (4,8 \div 5,7) = 6,9 \div 6,0$ руб. на 1 т цемента (здесь 900 — разница в расходе электроэнергии между новыми и традиционными методами в среднем). Из этих ориентировочных данных видно, что применение электротехнологии для обжига клинкера может быть эффективно, если замыкающие затраты на получение и транспорт электроэнергии уменьшатся примерно вдвое или вдвое возрастет стоимость технологического топлива — мазута и газа. Как показано в гл. 7, такое снижение затрат на электроэнергию возможно при освоении новых методов ее производства.

Из приведенных цифр также видно, что электрообжиг цемента может стать эффективным даже при современных соотношениях замыкающих затрат на топливо и электроэнергию, если удельные приведенные затраты на оборудование и сооружения удастся снизить примерно в четыре раза против нынешнего уровня. Это будет возможным при росте производительности печей и соответственно снижении их удельной стоимости. Известно, что применение электроэнергии может обеспечить большой рост скорости процессов обжига. Однако оценить параметры этого роста сейчас не представляется возможным. Выведенное предельное значение сокращения фондоемкости цементных заводов может быть использовано для оценки условий разработки новых электроемких способов производства цемента.

Пример 2. В работах института «Энергосетьпроект» сопоставление аккумуляционных схем электротеплоснабжения (АСЭТС) с котельными на газе и угле, с традиционными источниками тепла для бытовых потребителей проводилось при недостаточно полных данных по электрическим схемам. Прежде всего это стоимость внутридомового оборудования для электроотопления — аккумуляционных печей и стоимость внепиковой электроэнергии, которая существенно меняется в зависимости от степени заполнения провала графика электрической нагрузки. Пока сравнение велось для малоэтажной застройки с рассредоточенной электрической нагрузкой, возможные колебания этих показателей не имели существенного значения, так как границы эффективности применения АСЭТС для рассматриваемых условий весьма широки. Но когда исследование

Таблица 4-2

Предельная стоимость внепиковой электроэнергии для теплоснабжения (на примере условий Литвийской ССР)

Мощность котельных на топливе, зависящая от концентрации тепловой нагрузки, Гкал/ч	Стоимость внепиковой электроэнергии, коп/(кВт·ч), достаточная, чтобы сделать АСЭТС более эффективными по сравнению с котельными на	
	газе	угле
2	0,65	2,0
5	0,4	0,95
10	—	0,47
20	—	0,3

коснулось существующей пятиэтажной застройки с плотностью, в 7—8 раз превышающей плотность малоэтажной застройки, значения стоимости аккумуляционных электропечей и электроэнергии приобрели особое значение. В связи с этим оказалось целесообразным установить пределы стоимости электроэнергии, при которых будет эффективно применение АСЭТС для разных концентраций тепловой нагрузки. Результаты расчетов для старой 4—5-этажной застройки на примере условий Латвийской ССР приведены в табл. 4-2.

После сопоставления вариантов в наборах технологий проводится обработка результатов этих сопоставлений по предприятию, отрасли, району или народному хозяйству в целом. Для этого необходимо провести ранжирование наборов по технологическим цепочкам производства продукции и услуг. Предполагается, что объемы производства отдельных видов продукции и услуг с учетом их взаимозаменяемости заданы с гипотезой развития предприятия, отрасли, района или народного хозяйства.

Это дает возможность учесть взаимное влияние отдельных звеньев технологической цепочки в зависимости от используемого вида энергии и оценить суммарные народнохозяйственные затраты в развитии объекта на прогнозируемые уровни. Так, например, результат сравнения варианта классического доменного производства + конвертор с вариантом прямого восстановления железа и получения высококачественной стали в электропечах влияет на условия развития и выбор вариантов термообработки металла в машиностроении. Поэтому оценка вариантов в технологической цепочке должна носить сквозной характер.

Для укрупненных оценок потребности в электроэнергии по стране, отрасли народного хозяйства, крупному району, необходимых для общей ориентировки в перспективных масштабах и тенденциях развития энергетического хозяйства и электроэнергетики, можно рекомендовать использование комплекса простых относительно малоинформационных методов. Комплекс включает: временную экстраполяцию, одно- и многофакторную корреляцию; в отдельных случаях могут быть использованы методы коллективных экспертных оценок. Определение потребности в электроэнергии с помощью методов этого комплекса осуществляется независимо от оценок потребности в других видах топлива и энергии и, по существу, с упрощенным учетом связей с энергетическим балансом страны, отрасли, региона. Техниче-

ский прогресс в народном хозяйстве учитывается на основе его обобщенных результатов: фондовооруженности, производительности труда и т. п. Выбор технологий и видов энергии не производится.

Рассматриваемый комплекс методов, даже взятый в целом, не может обеспечить высокую надежность и качество прогноза. Для большей дифференциации прогноза, его детализации, большей обоснованности оценок потребности в электроэнергии необходимо использовать метод прямого счета. При этом он должен учитывать при определении удельных расходов на отдельные виды продукции результаты выбора технологий и видов энергии. Этот второй комплекс, включающий решение частных задач по выбору технологий, связан с отдельными звеньями общей народнохозяйственной системы, а через замыкающие затраты и с энергетическим балансом в целом. По состоянию информации сегодня практически используется именно второй комплекс методов прогнозирования электропотребления.

Наконец, третьим является комплекс, основанный на оценке всей взаимосвязанной технологической структуры и энергопотребления народного хозяйства с выходом на внутреннюю структуру энергетического хозяйства. В этом случае остальные методы прогнозирования дополняют технологический и используются для верификации его результатов. Возможности применения этого комплекса зависят от накопления и качества информации по технологиям общественного производства.

ГЛАВА ПЯТАЯ

НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

5-1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Наряду с прогрессивными изменениями в составе используемых первичных энергоресурсов одним из важнейших направлений повышения эффективности электрификации и увеличения удельного веса электроэнер-

гии в энергетическом балансе является совершенствование технической структуры электроэнергетики.

Оптимальное развитие энергетического хозяйства предполагает установление рациональной структуры генерирующих мощностей в стране в целом и ее отдельных районах. Это означает определение оптимальных мощностей и размеров производства электроэнергии на гидроэлектростанциях, тепловых электростанциях — конденсационных и теплофикационных, атомных, энергоустановках базисного, полупикового и пикового назначения (ГАЭС, ГТЭС и др.). В результате оптимизации уточняются типы электростанций, устанавливаются их мощность и размещение с учетом конкретных данных по площадкам, определяются режимы их работы в энергосистемах, уточняются величины и направления потоков энергии и конфигурации межсистемных и внутрисистемных линий электропередачи и т. д. Структура, параметры и характеристика оборудования и топливные режимы электростанций выбираются в соответствии с видом энергетических ресурсов, выделяемых электроэнергетике в энергетическом балансе.

Так, ограниченные, наиболее экономичные виды энергоресурсов направляются в первую очередь тем потребителям, где они незаменимы или могут принести наибольший эффект. По значению этого эффекта электростанции нередко являются замыкающими потребителями. Вместе с тем при выделении вида топлива учитываются особенности работы различных видов оборудования. Например, газомазутное топливо выделяется для пиковых и полупиковых электростанций и для теплоэлектроцентралей; угольное топливо и ядерное горючее — для базисных станций и т. д. Одновременно все основные параметры оборудования (давление и температура пара в теплоэнергетике и др.) рассчитываются с учетом размера замыкающих затрат на топливо, значения которых определяются в результате оптимизации энергетического баланса страны.

При обосновании глубины электрификации путем сравнения электроэнергии с другими видами энергии все сопоставления также проводятся на основе замыкающих затрат. Использование замыкающих затрат для решения частных задач позволяет согласовать получаемые выводы с оптимумом для энергетического хозяйства в целом. В свою очередь структура генерирую-

щих мощностей и масштабы применения электроэнергии оказывают существенное влияние на направление развития топливной базы страны.

Практически только на электростанциях могут быть использованы ресурсы ядерного горючего, низкокалорийные угли и гидроэнергия. Это положение, сформулированное для гидроэнергии, торфа, низкокачественного угля еще в период плана ГОЭЛРО, явилось в минувшие пятилетия важным фактором реконструкции топливного баланса и его минерализации. В настоящее время роль электроэнергетики раскрывается с особой силой и в несоизмеримых с прошлым масштабах в связи с задачами освоения канско-ачинских, экибастузских и других углей, программой развития атомной энергетики, освоением огромных гидроэнергоресурсов Сибири и Средней Азии. Таким образом, оптимизация структуры электроэнергетики и ее техническое совершенствование реализуются в рамках топливно-энергетического комплекса рассматриваемого в долгосрочной перспективе — в его единстве и расчлененности. В докладе XXV съезду КПСС товарищ Л. И. Брежнев сказал: «Для развития тяжелой промышленности, как, впрочем, и других отраслей народного хозяйства, все большее значение приобретает разработка крупных комплексных программ, рассчитанных на два-три пятилетия, — таких, как программа развития топливно-энергетического комплекса, металлургии, ведущих отраслей машиностроения» [Л. 2]. Именно на основе программно-целевого подхода будет осуществляться перестройка баланса котельно-печного топлива в направлении усиления роли атомной энергетики и угольного топлива при дальнейшем развитии добычи газа и особенно нефтедобычи — преимущественно в интересах удовлетворения технологических нужд.

Для развития электроэнергетики и ее технического прогресса характерным является непрерывный рост и углубление социалистического обобществления труда в форме концентрации, централизации и специализации. Эти направления имеют решающее значение для повышения эффективности электроэнергетики и формирования ее рациональной структуры. В электроэнергетике получили развитие все основные формы концентрации производства: агрегатная, заводская, предметная, про-

-странственная, организационно-хозяйственная [Л. 33, с. 161].

Вместе с тем некоторые особенности электроэнергетики, связанные с физико-техническими свойствами электрического тока, придают этим формам глубокое техническое и экономическое своеобразие. Следует помнить о жесткой связи между электроэнергетикой и производством, его структурой и территориальной организацией. Производство и потребление электроэнергии совпадают во времени. Время обращения продукции практически выпадает из кругооборота. Поэтому объемы, режимы и параметры материального производства непосредственно определяют объем, режим и параметры электроэнергетики.

Понятие энергоисточника и соответствующего ему предприятия приобрело в электроэнергетике более широкое значение, чем отдельная электростанция. Где бы ни были расположены электрические машины, электрические сети и токоприемники потребителей — все они оказываются связанными едиными законами электрического тока. Всякое изменение нагрузки потребителей или рабочей мощности электростанций немедленно отражается на работе всей энергетической системы.

С технической стороны электроэнергетическая система представляет совокупность электрических станций (агрегатов), сетей и приемных устройств, вырабатывающих и потребляющих электроэнергию, объединенных единым резервом мощности и единым диспетчерским управлением и обслуживающих определенную территорию. Работая синхронно (на одной частоте) система функционирует как единый производящий и потребляющий энергию организм, в котором взаимодействуют все части, изменяя в интересах оптимума системы свои характеристики. Поэтому экономические оценки единичной мощности агрегатов и электростанции обуславливаются поручаемыми им функциями и совокупными экономическими показателями всей цепи производства электроэнергии в энергосистеме (с учетом дискретного характера вводимых мощностей, зоны работы агрегатов, их топливных режимов, размеров резервов и т. д.).

В соответствии с этим определяется специализация каждой электростанции в энергосистеме. Важнейшая группа специализированных генерирующих источников

представлена крупными конденсационными тепловыми электростанциями на сверхкритических параметрах пара с агрегатами 300, 500 и 800 МВт, а также атомными электростанциями. Они располагаются в базисе графика нагрузки и предназначаются прежде всего для равномерной работы с максимально возможной выработкой электроэнергии. Другим видом функциональной специализации является выполнение группой электростанций так называемых режимных (мощностных) функций — снятие регулярных пиковых электрических нагрузок, внезапных набросов и сбросов нагрузок и других функций, требующих относительно небольших количеств энергии. К числу таких электростанций относятся гидроаккумулирующие и газотурбинные, а также ГЭС с суточным и недельным регулированием. Промежуточную «полупиковую» зону занимают электростанции, работающие 3000—4000 ч в году. К ним относятся, в частности, специальные полупиковые паротурбинные агрегаты, в текущем пятилетии устанавливаемые на ряде тепловых электростанций, а также хорошо зарегулированные ГЭС. В некоторых энергосистемах в переменном режиме приходится работать и части базисных КЭС.

Отсюда становятся понятными экономические требования, которым должен удовлетворять каждый источник при назначении ему той или другой функции в системе. Для установок пикового назначения, работающих с малым числом часов использования, особо важны низкие удельные капитальные затраты, тогда как уровень текущих затрат имеет гораздо меньшее значение. Поэтому для пиковых установок при более низких затратах на оборудование оказывается допустимым удельный расход топлива на 30—50% больший, чем у базисных электростанций. И наоборот, для последних особенно существенное значение приобретает высокий к. п. д. использования топлива.

Наряду с функциональной специализацией в рамках энергетических систем осуществляются также различные формы комбинирования энергопроизводства. К числу важнейших относится комбинированное производство электроэнергии и тепла на теплофикационных электростанциях, на долю которых приходится более 1/3 мощности тепловых электростанций СССР. По уровню развития теплофикации Советский Союз стоит на первом.

месте в мире. Опыт СССР в области теплофикации вызывает широкий интерес за рубежом.

Обоснование и размещение теплофикационных установок является важным элементом при выборе структуры энергетического хозяйства. Как известно, ТЭЦ по первоначальным затратам дороже конденсационных электростанций. Эти дополнительные затраты должны окупиться за счет экономии на эксплуатационных расходах, прежде всего путем экономии топлива. Поэтому ТЭЦ как энергоисточники оправдываются при определенной концентрации тепловых нагрузок. Так, для европейской части СССР они составляют 500—600 Гкал/ч. Экономическое обоснование ТЭЦ производится путем сопоставления комбинированной и раздельной схем энергоснабжения, при котором альтернативным вариантом является крупная котельная, производящая тепло, и энергосистема, поставляющая электроэнергию.

Таким образом, в рамках энергетических систем и их объединений определяется оптимальная перспективная структура генерирующих источников по их видам и функциям. Формирование такой структуры является одним из важнейших слагаемых технического прогресса в энергетике страны в целом. Структура установленной мощности и выработки электроэнергии по типам электростанций в 1974 г. характеризуется данными табл. 5-1.

Таблица 5-1

**Структура установленной мощности
и выработки электростанций¹**

Тип электростанций	Установленная мощность		Выработка электроэнергии	
	млн. кВт	%	млрд. кВт·ч	%
Тепловые паротурбинные	155,5	75,8	820,5	84,2
В том числе:				
конденсационные	103,5	50,4		
теплофикационные	52,0	25,4		
Гидравлические	36,8	18,0	130,0	13,3
Атомные	3,7	1,8	18,0	1,8
Дизельные и другие	9,1	4,4	6,5	0,7
Всего	205,1	100,0	975,0	100,0

¹ Энергетика СССР в 1974 году и задачи на завершающий год девятой пятилетки. — „Электрические станции“, 1975, № 1, с. 2—6.

Тепловая энергетика на органическом топливе останется до конца XX в. важнейшим компонентом энергетического хозяйства, хотя ее относительное значение будет уменьшаться за счет опережающего развития ядерной энергетики. Поэтому техническое совершенствование конденсационных и теплофикационных электростанций на органическом топливе, укрупнение единичной мощности блоков (агрегатная концентрация) и электростанций (концентрация мощности предприятий) служат одним из важнейших направлений технического прогресса энергетики в целом.

Происходивший в электроэнергетике процесс концентрации производства характеризуется следующими цифрами: если в 1960 г. имелась только одна электростанция мощностью более 1 млн. кВт, а ее удельный вес составлял лишь 2% общей мощности электростанций, то в 1974 г. число таких электростанций достигло 42, а их доля — 52%. Мощность наиболее крупной тепловой электростанции—Криворожской равна 3000 МВт. К концу 1974 г. число энергоблоков тепловых электростанций единичной мощностью свыше 160 МВт достигло 330, а их суммарная мощность составила 76,5 млн. кВт, или 49,1% мощности всех тепловых электростанций страны.

В соответствии с Директивами XXIV съезда КПСС главным направлением технических сдвигов в теплоэнергетике в девятом пятилетии явилось массовое освоение энергоблоков 300 МВт на сверхкритических параметрах пара. Первые агрегаты 300 МВт были введены в 1963 г. В 1965 г. их число достигло 15; к началу 1975 г. в работе находилось 129 турбоагрегатов 300 МВт и более, в том числе два блока по 800 МВт и 2 блока по 500 МВт. Находящиеся в работе и вводимые в эксплуатацию блоки мощностью 300 МВт работают надежно, и их проектные параметры достигаются в нормативные сроки. В девятой пятилетке также существенно улучшены технико-экономические показатели блоков 500 и 800 МВт. Это особенно важно, так как в последующие годы широкий ввод и освоение турбоагрегатов этой мощности становятся главным направлением технического совершенствования теплоэнергетики.

В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг. указано: «В энергомашиностроении обеспечить производство в необходимых

количествах энергоблоков мощностью 500 и 800 тыс. киловатт, которые должны стать базовыми блоками электростанций, работающих на органическом топливе, а также выпуск крупных гидравлических и газовых турбин». Аналогичный процесс укрупнения мощности турбоагрегатов и тепловых электростанций характеризует технический прогресс и в теплоэнергетике промышленно развитых зарубежных стран.

В перспективе в структуре топлива, получаемого электростанциями, произойдет уменьшение удельного веса газомазутного топлива и увеличение доли твердых топлив — каменных и бурых углей. Соответственно этому необходимо располагать наряду с уже имеющимся относительно небольшим числом одновальных агрегатов 800 МВт на газомазутном топливе (для ряда ГРЭС начатых строительством) аналогичными агрегатами, способными работать на углях. Наиболее многочисленной и перспективной должна явиться серия агрегатов 800 МВт с котлом, запроектированным для работы на канско-ачинских углях. Энергоблоки 500 МВт предназначены для электростанций Казахстана и Урала, работающих на экибастугских углях.

Переход на укрупненные энергоблоки 500 и 800 МВт должен обеспечить экономию удельных показателей: капитальных вложений до 10%, персонала — в 2—3 раза, металлоемкости — до 20%, и трудозатрат в строительстве — на 30—40% [Л. 111]. Расчеты показали, что при упомянутых выше агрегатах наиболее целесообразна установка на ГРЭС 6—8 блоков с увеличением установленной мощности электростанций до 4—6 млн. кВт.

Так, на XXV съезде КПСС отмечалось, что на Итатских разрезах (Канско-Ачинский бассейн) намечено строительство энергокомплекса в составе 10 электростанций по 6,4 млн. кВт каждая с энергоблоками по 800 тыс. кВт*. С появлением в перспективе агрегатов мощностью 1,2—1,6 млн. кВт установленная мощность отдельных электростанций, оборудованных такими агрегатами, может достигнуть 7,2—9,6 млн. кВт.

Необходимо, вместе с тем подчеркнуть, что выбор значения установленной мощности электростанций в системах энергоснабжения на перспективу — это сложная многоплановая задача, которая требует тщательного

* Выступление П. С. Непорожного. — «Правда», 1976, 4 марта.

конкретного обоснования. Одним из важных факторов здесь является мощность энергосистемы, где будет работать данная электростанция. Наличие в стране мощных энергообъединений открывает широкие возможности значительного укрупнения агрегатов и станций.

Расчеты показывают, что между мощностью энергосистем и уровнем концентрации производства существуют следующие ориентировочные соотношения. М. 101, МВт:

Минимальная мощность энергосистемы	Мощность электростанции	Мощность агрегата
5000	600	100
10 000	1200	200
15 000	1800—2400	300
25 000	3000	500
40 000	4800	800
70 000	4800—7200	1200

Однако прямой экономический выигрыш с укрупнением агрегатов постепенно уменьшается, поскольку в настоящее время устанавливаются агрегаты с одинаковыми параметрами пара. С другой стороны, укрупнение агрегатов ведет, как показали расчеты в стране и за рубежом, к некоторому снижению надежности и, как следствие, к необходимости увеличения резерва в системе. Растут также затраты на передачу электроэнергии, иногда на водоснабжение и т. п. В пользу укрупнения действуют показатели экономии труда при эксплуатации электростанций и их строительства, а также в смежных отраслях (например, в машиностроении).

Важным элементом технического прогресса в теплоэнергетике является функциональная специализация оборудования. Уже в ближайшее время в агрегатном составе конденсационных электростанций должны произойти изменения. Наряду с базисными энергоблоками на сверхкритических параметрах пара на ряде электростанций должны появиться блоки на 130 кгс/см², 565°С, установленной мощностью 500 МВт, предназначенные для работы в долуиковой части графика нагрузки энергосистем европейской части СССР. В этих энергосистемах нарастает противоречие между режимами энергопотребления, характеризуемыми абсолютным и относительным увеличением пиковой части суточного графика нагрузки, и ограниченными маневренными возможностями блочного базисного оборудования и теплоэлектроцентралей. Недельная неравномерность графиков

нагрузки приводит к необходимости не только разгрузки, но и остановки на выходные дни части котлов и турбоагрегатов на КЭС с последующим их пуском в ночь с воскресенья на понедельник. Такие режимы отрицательно сказываются на экономичности и надежности работы блоков. Расчеты показали, что для полупиковой части графика могут быть эффективно использованы паросиловые блоки упомянутых выше параметров. Покрытие остропиковой части графика должно осуществляться за счет крупных газотурбинных электростанций с агрегатами ГТ-100 и гидроаккумулирующими электростанциями. Все больший интерес за рубежом и в нашей стране проявляется к парогазовым установкам, конструкции которых должны обеспечить возможность их работы в переменном режиме. Разрабатываются и применяются парогазовые установки двух типов—с высоконапорным парогенератором и со сбросом газов после газовой турбины в топку парового котла.

Теплоэлектроцентрали и теплофикация смыкают между собою системы электроснабжения и теплоснабжения.

Следующие данные характеризуют структуру теплового хозяйства на 1970 г. и намеченную на 1975 г. [Л. 124], млн. Гкал:

	1970 г.	1975 г.
Общее производство тепла	1900	2480
В том числе:		
централизованное теплоснабжение . . .	1290	1820
по источникам:		
теплоэлектроцентрали	700	970
районные отопительные и промышлен-		
ные котельные	540	720
утилизационные промышленные уста-		
новки	50	130

Как видно, за счет теплоэлектроцентралей обеспечивается около 45% общей потребности в тепле и 75% тепла, производимого централизованно. К концу 1974 г. установленная мощность ТЭЦ Минэнерго СССР превысила 46 млн. кВт или примерно 1/3 мощности всех тепловых электростанций СССР, а выработка электроэнергии теплофикационными турбинами превысила 240 млрд. кВт·ч. Комбинированное производство электроэнергии и тепла обеспечило годовую экономию более 28 млн. т условного топлива.

Технический прогресс и совершенствование в области теплоэлектроснабжения намечаются в следующих

направлениях: дальнейшее повышение удельного веса теплоэлектроцентралей в теплоснабжении страны, что должно явиться важнейшим фактором повышения тепловой экономичности теплоэнергетики в целом; рост удельной и суммарной выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет комплексных мероприятий, обеспечивающих своевременную подготовку потребителей и синхронный ввод теплофикационных мощностей и тепловых сетей; значительное повышение средней удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении — до 350—370 кВт·ч/Гкал за счет увеличения доли теплофикационных агрегатов мощностью 100—250 МВт, с давлением пара 130—240 кгс/см²; подготовка крупных теплофикационных турбин мощностью до 400—500 МВт на сверхкритических параметрах; сооружение газотурбинных ТЭЦ и внедрение на ТЭЦ парогазовых циклов; развитие открытых систем теплоснабжения и однотрубного транспорта тепла (до пиковых котельных) от крупных ТЭЦ, расположенных на значительном расстоянии от центров тепловой нагрузки; повышение в существующих тепловых сетях температуры воды до проектного значения в 150°С (вместо имеющихся 130—135°С), а в новых сетях — до 170—180°С, что позволит резко повысить пропускную способность тепловых сетей.

Дальнейшее развитие получит строительство ТЭЦ, имеющих как теплофикационные турбины, так и пиковые котлы. Это обеспечивает повышение энергетической и экономической эффективности ТЭЦ в условиях переменного режима теплоснабжения. Особенно широко такие ТЭЦ используются для обеспечения нужд отопления и горячего водоснабжения. В настоящее время установлено, что для промышленных ТЭЦ также может быть достигнута заметная экономия при комбинировании теплофикационных турбин и пиковых котлов, покрывающих кратковременные пики тепловой технологической нагрузки.

В целях сокращения сроков и существенного (на 15—20%) снижения стоимости сооружения ТЭЦ разрабатаны и внедряются типовые проекты электростанций повышенной заводской готовности.

Развитие указанных направлений, совершенствование транспортных и потребительских систем теплоснабжения и другие мероприятия обеспечивают дальнейшее

снижение капиталоемкости централизованных систем теплоснабжения и повышение их энергетической эффективности. Последнее представляется особенно важным для экономии топлива.

Белика положительная роль теплоснабжения на базе крупных котельных и теплоэлектроцентралей в экологическом отношении. Применение централизованного теплоснабжения по сравнению с мелкими отопительными установками обеспечивает значительное уменьшение загрязненности воздушного бассейна городов. Еще больший эффект достигается при вынесении крупных ТЭЦ за городскую черту. Эффективность такого решения в СССР обеспечивается рядом мероприятий, в том числе повышением расчетной температуры воды в подающей линии тепловой сети, переходом на однотрубную систему и др.

В СССР централизация теплоснабжения на базе теплоэлектроцентралей и крупных котельных остается главным направлением развития теплоснабжения и на перспективу. По условиям застройки, а следовательно, концентрации и плотности тепловых нагрузок доля этих систем в теплоснабжении городского населения может возрасти до 80%.

Атомная энергетика. В перспективе важнейшим слагаемым сдвигов в структуре энергетического хозяйства станет опережающий рост атомной энергетики. Он явится важнейшим фактором предстоящих коренных изменений в энергетическом балансе европейских районов страны и технической структуре электроэнергетики.

Атомная энергетика занимает ведущее место в программах развития энергетического хозяйства за рубежом, особенно после того как ее сравнительные экономические характеристики значительно улучшились в связи с высоким уровнем цен на нефть. Усиление перспективной роли атомной энергетики — важнейшая черта технической перестройки энергетического хозяйства многих стран. Вместе с тем новая энергетическая обстановка дала повод для разработки неоправданно завышенных прогнозов развития атомной энергетики, не учитывающих реальные производственные трудности, с которыми столкнулась атомная энергетика в капиталистических странах, резкое удорожание кредита и другие сдерживающие условия. Так, например, Международное агентство атомной энергии (МАГАТЭ) в до-

кладе 4.1-22 на МИРЭК-IX пересмотрело в сторону увеличения свой первоначальный прогноз и наметило мощность атомных электростанций мира в размере 1900 млн. кВт на 1990 г. и 5300 млн. кВт на 2000 г.*, что соответствует удельному весу АЭС в установленной мощности всех электростанций мира в 2000 г. примерно 75%. Одновременно доклад МАГАТЭ намечает широкое использование атомных реакторов для теплоснабжения производственных и бытовых потребителей. По нашему мнению, более реальными являются другие, представленные на МИРЭК-IX прогнозы, намечающие мощность АЭС в 2000 г. не выше 3000 млн. кВт.

В результате накопленного в промышленно развитых странах значительного эксплуатационного и проектного опыта в настоящее время число типов атомных реакторов сведено к минимуму. Доминирующее положение занимают корпусные реакторы на обычной воде (под давлением и кипящие), тяжеловодные (они получают преимущественное распространение в Канаде) и в некоторой степени высокотемпературные. Одновременно во многих странах ведутся работы над реакторами на быстрых нейтронах (бридеры). Согласно данным МАГАТЭ развитие АЭС в несоциалистических странах будет происходить в преобладающей части (60%) за счет реакторов на обычной воде. На долю реакторов на быстрых нейтронах будет приходиться около 30%, мощности АЭС в 2000 г. и лишь 4% в 1990 г.

В более ранних прогнозах удельный вес электростанций с реакторами на быстрых нейтронах оценивался на 2000 г. величиной до 50%. Хотя во Франции удовлетворительно работает реактор «Феникс» мощностью 250 МВт (аналогичной мощности реактор на быстрых нейтронах работает в Англии) с натриевым теплоносителем и проектируется «Суперфеникс» мощностью 1200 МВт (осуществляется совместно с ФРГ и Италией), трудности, с которыми столкнулись в ряде капиталистических стран с развитием этой отрасли атомной энергетики, привели к более осторожной оценке вероятных темпов развития реакторов на быстрых нейтронах.

В частности, были допущены серьезные просчеты в оценке стоимости реакторов. Так, сметная стоимость

* Ожидаемая мощность АЭС в 1975 г. — около 100 млн. кВт.

жидкометаллического бридера электростанции «Клинч-ривер» мощностью 360 МВт в 1974 г. возросла по сравнению с оценкой 1972 г. в два с половиной раза. Сейчас надежды на получение эффективного промышленного жидкометаллического бридера связываются в США с созданием демонстрационного реактора мощностью более 1 кВт, позволяющего, как предполагают, снизить удельные капитальные затраты¹. Как известно, стратегия развития атомной энергетики базируется на двухкомпонентной структуре — сочетании реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. Снижение удельного веса последних по сравнению с ранее предполагавшимся ростом означает уменьшение поступления плутония от реакторов-размножителей и, следовательно, возрастание потребности в уране.

В итоге значительная потребность в уране сохранится в капиталистических странах в течение длительного времени. Это предъявит соответствующие требования к сырьевой базе и, видимо, заставит перейти к использованию ресурсов урана более дорогих, чем 39 долл/кг (см. стр. 35).

Увеличение единичной мощности агрегатов АЭС обеспечивает улучшение экономических показателей, причем эта тенденция, в отличие от топливных электростанций, пока не затухает. Во всяком случае, экономически не вызывает сомнения целесообразность увеличения мощности реакторов до 1,5—2 млн. кВт. Опыт США с водо-водяными реакторами свидетельствует, что увеличение единичной мощности блока вдвое обеспечивает снижение удельной стоимости на 25%. По отечественным данным, при неизменной стоимости топлива показатели АЭС с реакторами водо-водяного типа снижаются с увеличением мощности реактора (табл. 5-2).

В Советском Союзе, располагающем в восточных районах крупными и дешевыми энергетическими ресур-

¹ Стоимость АЭС в капиталистических странах в последние годы резко повысилась, сметы на строящиеся и проектируемые объекты пересмотрены в сторону увеличения.

При этом следует учитывать, что публикуемые данные обычно рассчитываются на дату сдачи АЭС в эксплуатацию. Соответственно этому на удорожании АЭС сказываются не только такие факторы, как возрастание требований к безопасности, но и увеличение времени, необходимого для получения лицензий, значительное возрастание сроков строительства (до 8—10 лет), рост кредитных ставок, учет инфляции и т. д.

Показатели АЭС с блоками ВВЭР различной мощности¹

Показатели	ВВЭР 210	ВВЭР 365	ВВЭР 440	ВВЭР 1000
Энергетическая мощность реактора, тыс. кВт	210	365	440	1000
К. п. д. блока нетто, %	25,5	25,7	29,7	31,7
Годовой отпуск электроэнергии, млрд. кВт·ч	1,35	2,4	2,9	—
Удельные капиталовложения: руб/кВт	326	220	200—220	170—190
коп/(кВт·ч)	0,495	0,33	0,3—0,33	—
Себестоимость энергии, коп/(кВт·ч)	0,95	0,743	0,7	0,6
Приведенные затраты на 1 кВт·ч, коп.	1,0	0,78	0,74	—

¹ Беркович В. М., Калошин Ю. П., Татарников В. П., Шендерович А. С. Проектирование АЭС с блоками ВВЭР мощностью 1 млн. кВт. — „Теплоэнергетика“, 1974, № 4, с. 18—22.

сами, потребность в атомных электростанциях определяется в первую очередь нуждами европейской части страны, где стоимость замыкающего топлива высока и превышает 20 руб/т условного топлива. Размещение новых атомных электростанций будет происходить преимущественно в энергообъединениях Центра, Северо-Запада, Юга и Закавказья, где эффективность АЭС при сопоставлении с альтернативными тепловыми электростанциями наиболее значительна.

Развитие атомной энергетики идет по линии сооружения мощных атомных станций с корпусными реакторами на тепловых нейтронах водо-водяного типа под давлением, уран-графитовых кипящих канального типа и АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Единичная мощность ядерных реакторов, применяемых в СССР, — 440, 500, 1000, 1500 МВт обеспечивает необходимые темпы роста атомной энергетики и создает возможности укрупнения агрегатов и электростанций.

В 1976—1980 гг. на атомных электростанциях будет введено 13—15 млн. киловатт. Будет продолжаться строительство Курской, Чернобыльской, Смоленской, Игналинской АЭС, а также Южно-Украинской, Калининской, Ровенской и других АЭС.

Наряду с широким применением уже определённых типов АЭС представляет интерес разработка высокотемпературных реакторов (800—1000°С и выше) для лучшего использования горючего и применения ядерной энергии в технологических процессах промышленного производства. Ведущие позиции Советский Союз занимает в создании реакторов на быстрых нейтронах. В г. Шевченко на Каспии построена АЭС с реактором на быстрых нейтронах электрической мощностью 150 МВт. Сооружается реактор на быстрых нейтронах БН-600 электрической мощностью 600 МВт [Л. 34].

Дальнейшее техническое совершенствование атомной энергетики и систем энергоснабжения предполагает также сооружение атомных теплоэлектроцентралей и полупиковых АЭС.

Атомная энергетика может занять значительное место в структуре перспективного топливно-энергетического баланса лишь в том случае, если наряду с производством электроэнергии, на которое расходуется около четверти энергоресурсов, она охватит и область централизованного теплоснабжения, потребляющего до трети энергоресурсов. Использование атомной энергии в этой области было бы весьма эффективным, так как она непосредственно заменяла бы дорогое нефтегазовое топливо.

Зоной работы АЭС, в издержках которых доминируют постоянные затраты, явится базис графика нагрузки электроэнергетических систем, откуда постепенно должны быть вытеснены в более неравномерную часть графика конденсационные станции, оборудование которых должно иметь возможность достаточно экономичной работы в полупике — вплоть до его полной замены специализированными полупиковыми установками.

В более отдаленной перспективе, при массовом вводе реакторов на быстрых нейтронах, последние будут располагаться в глубоком базисе графика нагрузки, частично смещая АЭС на тепловых нейтронах в полупиковую зону. Поэтому возникает необходимость разработки и создания таких типов АЭС, которые оставались бы экономичными и в полупиковом режиме работы.

Практически потребность в полупиковых АЭС возникнет, вероятно, в более ранние сроки в связи с зада-

чей экономии нефтегазового топлива, на котором сейчас запроектированы маневренные конденсационные агрегаты.

Определенная возможность регулирования в небольшом диапазоне предусмотрена и на АЭС обычного типа.

Гидроэнергетические ресурсы — вечно возобновляемые источники энергии — продолжают играть существенную роль в энергетическом хозяйстве мира. В последние десятилетия гидроэнергетика в значительной мере изменила свое назначение и свои функции в народном хозяйстве. Важнейшими особенностями явились резкий рост централизации энергоснабжения и все более комплексное использование водных ресурсов.

Нарастающая централизация энергоснабжения, формирование крупных энергетических систем дают возможность придать каждому источнику энергии функции в наибольшей степени соответствующие его технологическим особенностям и энергетическим характеристикам. Гидроэлектростанции будут являться важным элементом развивающихся энергосистем, где они призваны играть роль пиковых высокоманевренных электростанций. Абсолютный рост электропотребления и увеличение неравномерности графика нагрузки в энергосистемах создают благоприятные условия для развития установленных мощностей гидроэлектростанций. Это, в свою очередь, способствует улучшению режима работы энергосистем и повышению экономической эффективности ГЭС. Необходимость обеспечивать высокий уровень надежности системы энергоснабжения также увеличивает экономическое значение гидроэлектростанций, обладающих способностью практически мгновенного приема нагрузки и широкого маневрирования энергоотдачей при помощи водохранилищ.

Одновременно гидроэлектростанции являются важнейшим элементом водохозяйственных комплексов. Многоцелевое использование водных ресурсов в интересах энергетики, ирригации, водоснабжения, водного транспорта и т. д. позволяет существенно повысить суммарную экономическую эффективность всех компонентов входящих в состав водохозяйственных комплексов. Вместе с тем несоответствие между масштабами и режимами водопотребления и объемом естественного стока приводит к созданию все более развитой сети водохранилищ. Их емкость, режим работы и наполне-

ния должны обеспечить наибольший экономический эффект у всех взаимосвязанных водопотребителей, интересы которых оказываются нередко противоречивыми.

Возрастает и экономическое значение исходной функции ГЭС — производства электроэнергии, независимого от топлива и его стоимостных показателей. Экономия топлива, приносимая народному хозяйству гидростанциями, означает высвобождение дополнительных энергоресурсов, которые можно оценивать по средним мировым ценам. Это значительно увеличивает экономичную эффективность гидростанций.

Вместе с тем необходимо учитывать и отрицательные последствия создания каскадов гидроузлов, связанные с затоплением земель, нарушением в ряде случаев процессов биологического равновесия и самоочистки воды, изменением водного и солевого балансов отдельных морей и т. д. Эти факторы наряду с длительностью подготовки и высокой капиталоемкостью объектов водного хозяйства требуют рассмотрения последнего с охватом внутренних и внешних связей и возможно более полным выявлением затрат и эффектов, обусловленных формированием и особенностями структуры водохозяйственных комплексов.

Для уяснения характера функций, выполняемых разными источниками энергоснабжения в энергохозяйстве, следует иметь в виду различия в их экономической структуре. Важной особенностью гидроэлектростанций является высокий органический состав производственных фондов: в 15—20 раз более высокий, чем у тепловых станций. Вследствие этого у ГЭС высокий уровень производительности труда и низкая себестоимость. С этой особенностью гидроэнергетики связан и ряд других ее характеристик, в том числе малый удельный вес оборотных фондов в структуре производственных фондов.

Различен состав основных фондов гидроэлектростанций и тепловых электростанций. В основных фондах ГЭС преобладает стоимость зданий и сооружений, а удельный вес оборудования не превышает 15—17%. Напротив, у ТЭС 70% основных фондов составляет оборудование.

Капитальные вложения в сооружение ГЭС в незначительной степени зависят от установленной мощности.

Так, капиталовложения в водосбросные сооружения определяются максимальным расходом реки. В этих условиях при относительно малом удельном весе стоимости оборудования наибольшая экономичность использования гидростанций обеспечивается наибольшим использованием водотока, а не путем наиболее полной по времени загрузки оборудования. Это достигается за счет увеличения установленной мощности с таким расчетом, чтобы ГЭС снимали все неравномерности нагрузки в межень и улучшали использование водных ресурсов в половодье. На высоконапорных гидростанциях 1 кВт дополнительной мощности обходится обычно значительно дешевле, чем на тепловых электростанциях. Для современных тепловых электростанций с высоким удельным весом стоимости оборудования в основных фондах оптимальным является по возможности выравненный базисный режим работы с предельно допустимой степенью загрузки оборудования. Сокращение числа часов использования установленной мощности резко удорожает энергию за счет условно-постоянных, не зависящих от выработки издержек и увеличения расхода топлива.

По американским и французским данным, пиковая энергия, рассчитанная из условий работы в резко переменном режиме блочных тепловых электростанций, обходится в 3—3,5 раза дороже энергии базисной. Учет стоимости электроэнергии в зависимости от ее качества способствует более правильному распределению функций в энергосистеме между электростанциями разных типов. В соответствии с этим за рубежом наблюдается в последнее время и в особенности намечается на ближайшую перспективу все большее использование гидроэлектростанций в пиковой зоне графика нагрузки. Это означает развитие мощностных функций гидроэлектростанций и соответственно снижение числа часов использования установленной мощности ГЭС — до 1500 и ниже.

В СССР уже Днепротэс был рассчитан как пиковая электростанция, работающая в объединенной энергосистеме Днепр — Донбасс. По существу концепции энергетического использования гидростанций, которые были сформулированы еще в плане ГОЭЛРО и полностью реализуются в Советском Союзе, сейчас пробивают себе дорогу за рубежом.

Наиболее отчетливо мощностные свойства и функция гидростанций выражены в гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС), у которых ценность системных пиковых функций значительно перевешивает затраты, связанные с насосным режимом. Как известно, за рубежом гидроаккумулирующие электростанции получили широкое развитие как источник покрытия остропиковой части графика нагрузки энергосистем. В СССР в течение долгого времени в связи с наличием в энергосистемах европейской части страны крупных гидростанций настоящей нужды в гидроаккумулирующих станциях не было. Однако уже в настоящее время необходимость разработки и осуществления программы сооружения ГАЭС в разных районах страны не вызывает сомнений.

Важно отметить, что экономические показатели гидроэлектростанций определяются как природной обстановкой и конструктивными решениями, так и условиями использования ГЭС в крупных энергетических системах. В этой связи необходимо особо подчеркнуть значение снижения стоимости гидроэлектростанций как капиталоемких энергообъектов. Здесь решающая роль принадлежит техническому прогрессу и рациональной организации строительных работ, определяющих производительность труда в строительном процессе.

Не меньшую роль имеют системные условия, которые не только определяют степень использования установленной мощности гидроэлектростанций, но и существенно влияют на такие исходные расчетные параметры, как нормальный подпорный уровень, объем регулирования, расчетное значение обеспеченности. В энергосистемах с большим значением пиковой части графика нагрузки возникает возможность трансформировать сравнительно малую гарантированную среднюю мощность в значительно (иногда в 6—8 раз) большую величину эффективно используемой максимальной мощности гидроэлектростанции за счет накопления воды в водохранилище в часы ночного провала и ее сработки в часы пика. Вследствие этого в условиях растущего объединения энергосистем снижается потребность в высокой степени зарегулирования ГЭС. Это означает возможность снижения подпорного уровня (по сравнению с величиной подпорного уровня, которая была бы уста-

новлена при отсутствии крупных энергообъединений), что в свою очередь приводит к снижению затоплений. С другой стороны, объединение энергосистем, при котором оказываются электрически связанными ГЭС, работающие на реках с разным гидрологическим режимом, позволяет осуществить компенсированное регулирование. В результате общая гарантированная энергоотдача ГЭС возрастает, что способствует развитию установленной мощности ГЭС и повышению их экономичности.

Границами увеличения устанавливаемой на ГЭС мощности является, во-первых, возможность ее полноценного, не требующего дублирования использования в балансе мощностей энергосистемы в расчетном маловодном году и, во-вторых, экономическая эффективность подобного расширения по сравнению с альтернативными возможностями развития энергосистемы и ее структуры в динамике на 10—15 лет вперед. В этих экономических сопоставлениях принимаются во внимание такие факторы, как «эффект вытеснения» тепловых электростанций из пика графика нагрузки; влияние на энергетические показатели ГЭС заборов воды для ирригации и других потребителей, условия затопления и подтопления земель в верхнем и нижнем бьефах, условия топливного баланса и др. Эти сравнения осуществляются при решении задачи оптимизации структуры электроэнергетики.

Если развитие и объединение энергосистем являются важным фактором улучшения экономики гидростанций, то, с другой стороны, крупные ГЭС выступают в качестве сильнейших стимулов для дальнейшей централизации энергоснабжения и реализации всех факторов, связанных с этим преимуществом: экономии активной и резервной мощности, повышении надежности и маневренности энергоснабжения, вовлечении в использование особо экономичных энергоресурсов и т. д.

Гидроэлектростанции оказывают воздействие на размещение производительных сил, в особенности энергоемких производств, именно через энергосистему, а не в качестве изолированных энергоисточников. Сама по себе низкая стоимость энергии ГЭС не может выступать в качестве фактора «притяжения» такого электроемкого потребителя как, например, алюминий, если эта ГЭС расположена в районе с высоким уровнем замыкающих

затрат на энергетические ресурсы, в частности районах европейской части страны. Развитие на базе гидроэнергии в этих районах электроемких производств ухудшило бы также и экономику самих гидроэлектростанций. Существенное изменение состава потребителей за счет электроемких производств привело бы к уплотнению графика нагрузки и вследствие этого к необходимости снижения установленной мощности ГЭС и ее экономических показателей.

В отличие от этого в районах Восточной Сибири гидроэнергетика в составе объединенной энергосистемы становится мощным фактором организации здесь крупных комплексов электроемкой промышленности. Большая концентрация гидравлических мощностей, высокая степень зарегулированности энергоотдачи ГЭС, хорошие строительные условия позволяют получить благоприятные экономические показатели гидроэлектростанций даже при весьма плотном графике потребления энергии электроемкими производствами, а изобилие экономических энергоресурсов обеспечивает потенциальную избыточность топливно-энергетического баланса района в целом.

Советская гидроэнергетика прошла славный путь от Волховской ГЭС и Днепрогэс до крупнейших в мире гидроузлов на Волге, Ангаре, Енисее и других реках страны. В 1975 г. установленная мощность ГЭС составила 37 млн. кВт, а выработка 132 млрд. кВт·ч. Дальнейшее гидростроительство направлено на завершение работ по освоению гидроэнергоресурсов Волги, Камы, рек Северного Кавказа и создание здесь надежных высокоманевренных электростанций, обеспечивающих острую потребность энергосистем в пиковых мощностях. Гидроузлы одновременно решают комплексные задачи по обеспечению нужд водного транспорта, водоснабжения и ирригации. Наряду с сооружением гидроэлектростанций на территории европейской части страны проектируется построить пиковые гидроаккумулирующие установки мощностью по 1,5—2 млн. кВт каждая.

В районах Сибири осуществляется дальнейшее освоение Ангары и Енисея. В основных направлениях развития народного хозяйства на 1976—1980 гг. предусматривается ввод в действие первых агрегатов на Саяно-Шушенской ГЭС, ввод на полную мощность Усть-Илимской ГЭС и начало строительства Богучанской

ГЭС. Эти гидроузлы имеют крупное районообразующее значение. Продукция формируемых на их базе энергоемких промышленных комплексов явится наиболее целесообразным каналом, посредством которого может быть влита в народное хозяйство дешевая энергия этих гидроэлектростанций.

Гидроэнергостроительство в районах Средней Азии и Казахстана будет развиваться в направлении сооружения комплексных ирригационно-энергетических гидроузлов с крупными водохранилищами на реках Нарын, Вахш, Иртыш.

В десятой пятилетке будет введена на полную мощность Нурекская ГЭС, начато строительство Рогунской, Курпсайской и Шулъбинской ГЭС.

Комплексные гидроузлы, обеспечивающие нужды энергетики и борьбы с наводнениями, будут продолжать сооружаться на Дальнем Востоке.

В целом можно сказать, что несмотря на уменьшение удельного веса гидростанций в балансе электроэнергии гидроэнергетика и связанные с нею отрасли водного хозяйства будут иметь до конца века большое народнохозяйственное значение. Роль гидроузлов для обеспечения комплексных нужд водного хозяйства будет возрастать опережающими энергетикой темпами.

В перспективе важные структурные сдвиги в энергетике будут связаны с развитием принципиально новых источников и методов преобразования энергии, способных существенно повысить коэффициент полезного действия энергетического цикла и использовать практически неограниченные ресурсы энергии. Важнейшее место в этих перспективах принадлежит решению проблемы термоядерного синтеза, «сырьем» для которого являются тяжелые радиоактивные изотопы водорода — дейтерий и тритий.

Академик В. А. Кириллин отмечает, что в исследованиях термоядерного синтеза советские ученые занимают лидирующее положение. Специалисты предполагают, что демонстрационный реактор может быть создан в восьмидесятых годах, после чего можно будет перейти к решению задач производства электроэнергии в крупных масштабах. Однако чтобы осуществить эту программу, нужно решить ряд сложных технических проблем. Академик В. А. Кириллин предполагает, что

к концу нынешнего столетия будут построены первые промышленные термоядерные реакторы [Л. 34].

Видимо в более короткие сроки приобретут промышленное значение МГД-генераторы, которые могут обеспечить к. п. д. установки 55—60%, вместо 40% у лучших конденсационных тепловых электростанций. В совместном докладе академика А. Е. Шейндлина (СССР) и В. Д. Джаксона (США) на МИРЭК-IX дан обзор состояния исследований в области МГД-генерирования. В настоящее время исследования в этой области проводятся в СССР, США, Японии, Польше. В СССР установка У-25 при осуществлении опытов загружалась до 3—5 МВт с длительностью работы до 12 ч. Эти исследования будут продолжены в течение ближайших лет. Вместе с тем они позволили приступить к проектированию крупной установки открытого цикла на газообразном или жидком топливе мощностью до 1000 МВт. В период 1975—1985 гг. демонстрационное предприятие может быть введено в эксплуатацию, открыв дорогу для создания первого поколения электростанций такого типа. В области создания МГД-генераторов осуществляется активное сотрудничество ученых СССР и США¹.

Представляют интерес вопросы использования солнечной энергии и глубинного тепла Земли. Использование солнечной энергии помимо СССР изучается в США, а также в Австралии и некоторых других странах. Первоочередным направлением здесь является получение низкотемпературного тепла. В дальнейшем намечается исследовать возможность создания электростанций, использующих энергию Солнца. Однако это несомненно затруднено низкой концентрацией солнечной энергии. Академик В. А. Кириллин отмечает, что трудности в использовании солнечной энергии для получения электроэнергии в больших масштабах состоят в весьма низких технико-экономических показателях методов, позволяющих реально осуществить эту идею.

В настоящее время суммарная установленная мощность электростанций, использующих геотермальную энергию, достигла 1000 МВт, в том числе в США 400 МВт, Италии 380 МВт, Новой Зеландии 192 МВт.

¹ Доклад № 4. 1-13 на МИРЭК-IX.

В докладах на МИРЭК-IX отмечается экономичность геотермальных установок, требующих для крупной электростанции затрат в 170—200 долл/кВт. Отсутствие топливной составляющей (все затраты постоянные) делают их хорошим источником дешевой внепиковой энергии при равномерной работе в базисе графика нагрузки. Геотермальные установки являются также эффективным источником теплоснабжения. Однако следует отметить, что приведенные выше показатели относятся к установкам, использующим геотермальные ресурсы, расположенные на незначительной глубине. Организация теплообмена на больших глубинах наталкивается на значительные трудности.

В настоящее время значительный интерес вызывает возможное использование водорода как энергетического топлива. Преимущества водорода состоят в том, что он сжигается без загрязнения окружающей среды (при этом образуется некоторое количество окислов азота); потери энергии на его трубопроводный транспорт гораздо меньше, чем при передаче электроэнергии; водород позволяет аккумулировать энергию. В целом эффективность использования водородного топлива высока.

Однако необходима дешевая технология производства водорода. Электролиз не считается достаточно эффективным процессом для его получения. В настоящее время за рубежом анализируется термохимическая схема; в том числе с использованием тепла атомных реакторов. Но наиболее перспективные из этих схем в настоящее время еще не осуществимы из-за отсутствия реакторов с требуемой температурой теплоносителя. Для широкого использования водорода необходимо решить ряд научно-технических задач (удешевление хранения водорода, борьба с хрупкостью труб при низкой температуре водорода и т. п.). О значительном внимании в мире к возможности использования водорода как энергетического топлива говорят данные состоявшейся в 1974 г. в Майями (США) специальной конференции, на которой присутствовало более 700 ученых и было сделано 90 докладов.

Одним из важнейших направлений технического прогресса в энергетическом хозяйстве является нарастающая централизация производства и распределения электроэнергии — образование и развитие энергетических

систем и их объединений. Коэффициент централизации в электроэнергетике, составлявший в 1955 г. 82%, в 1965 г. 93%, превысил в 1975 г. 99%. При этом глубоко изменилась качественная сторона централизации. Значительно выросли напряжения линий электропередачи; повысилась возможность межсистемного маневрирования мощностями; обеспечивается оптимальное распределение нагрузок между различными типами генерирующего оборудования. В стране работает более 90 энергетических систем, входящих, в свою очередь, в 11 объединенных энергетических систем. Объединенные энергосистемы Урала, Средней Волги, Центра, Северо-Запада, Юга, Северного Кавказа, Закавказья и Северного Казахстана образуют Единую энергетическую систему СССР, 700 электростанций которой общей мощностью более 150 млн. кВт производят 70% электроэнергии, вырабатываемой в стране. В ближайшие годы к Единой энергосистеме СССР присоединятся энергообъединения Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии.

Общая протяженность линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше к концу 1974 г. достигла 568 тыс. км, а сельских линий электропередачи напряжением 0,4—20 кВ превысила 3,1 млн. км. Развитые внутрисистемные и межсистемные линии электропередачи, автоматизированные комплексы противоаварийной защиты, наличие резервов обеспечивают надежность электроснабжения. Возможности широкого маневрирования энергетическими потоками позволяют уже в настоящее время обеспечивать значительную экономию энергетической мощности.

Благодаря большой протяженности с востока на запад Единая электроэнергетическая система позволяет широко использовать разность во времени между энергосистемами европейской части и восточными районами страны. Электростанции системы последовательно обеспечивают максимальные нагрузки Северного Казахстана, Урала, Волжского района и Центра. Совмещение максимумов нагрузок вместе с сокращением необходимого аварийного резерва обеспечивает уже в настоящее время экономию не менее 5 млн. кВт мощности. После присоединения к Единой энергосистеме районов Сибири и Средней Азии экономия мощности в перспективе может возрасти до 20—30 млн. кВт.

В связи с многообразием проблем рационального формирования Единой электроэнергетической системы страны осуществляется обширный комплекс исследовательских, проектных и опытно-промышленных разработок. Среди них — выбор оптимальной структуры энергосистемы, вопросы ее секционирования, уровня надежности, рациональных потоков мощности и энергии, оптимального сочетания линий электропередачи различных напряжений, влияния новых видов электростанций, в частности атомных, на конфигурацию потоков и сетей и т. п.

Технический прогресс в развитии энергосистем связи с использованием все более высокого напряжения для линий электропередачи переменного и постоянного тока. В стране получили широкое распространение сети 500 кВ, которые наряду с межсистемными функциями используются для выдачи мощности крупных электростанций. На основе сетей этого напряжения создана объединенная энергосистема Сибири, где линии 500 кВ служат для выдачи мощности ГЭС и ТЭС Ангаро-Енисейского района. Введена в эксплуатацию трансукраинская линия электропередачи 750 кВ Донбасс — Львов, которая будет продолжена для усиления связей с объединенными энергосистемами стран — членов СЭВ. Подобная линия связала также районы Центра и Северо-Запада. В перспективе в связи со значительным увеличением требований к пропускной способности системобразующих и межсистемных связей будет освоено новое сверхвысокое напряжение переменного тока 1150 кВ.

В СССР успешно действует линия передачи постоянного тока 800 кВ Волгоград — Донбасс. Опыт эксплуатации этой линии служит задачам проектирования линий передачи постоянного тока 1500 кВ. Казахстан — Центр длиной 2500 км пропускной способностью 6 млн. кВт, которая будет транспортировать дешевую энергию комплекса электростанций на экибастузских углях в Центральный район европейской части страны. Еще более высокое напряжение постоянного тока (2200 — 2500 кВ) потребуется для массовой передачи электроэнергии от электростанций Сибири.

Создание линии передачи постоянного тока уникально высокого напряжения 2500 кВ из двух цепей общей пропускной способностью 40 млн. кВт явилось бы кар-

динальным решением вопроса транспорта энергоресурсов Канско-Ачинского бассейна в европейскую часть СССР. Одна такая линия позволила бы перебросить энергоресурсы, эквивалентные 160 млн. т канско-ачинского угля.

Использование линий электропередачи как средства транспорта энергии и выбор их типа основывается на следующих соображениях:

передачу дешевой электроэнергии из Казахстана и Сибири в европейскую часть СССР на расстояние 2500 км и более при передаваемой мощности 6—12—20 млн. кВт на цепь выгоднее осуществить постоянным током;

передача энергии постоянным током на это расстояние выгоднее перевозки эквивалентного количества угля по железной дороге;

передача дешевой сибирской энергии позволяет получить в европейской части СССР стоимость 1 кВт·ч на 20—30% ниже, чем стоимость электроэнергии, рассчитанная с учетом замыкающих затрат на топливо в этих районах.

Представляет интерес влияние новых источников энергии и типов электростанций, в частности атомных, на структуру перспективных энергосистем. Анализ не подтверждает высказываний некоторых зарубежных специалистов о том, что развитие атомных электростанций может привести к «отмиранию» энергосистем, линий электропередачи и т. п. в связи с возможностью их приближения к потребителям. При такого рода суждениях упускают из виду, что экономические преимущества централизованного электроснабжения (экономия мощности, оптимальное использование каждого типа электростанций, повышение надежности и устойчивости снабжения энергией, использование наиболее экономичных энергоресурсов и т. д.), имеют своей предпосылкой образование больших потоков мощности и энергии постоянного и нерегулярного типа. Возможность приближения атомных электростанций к крупным потребительским узлам не изменяет в принципе этого положения. Кроме того, ряд технико-экономических факторов обуславливает большую эффективность укрупнения мощности АЭС, которое в свою очередь может создать значительные энергетические потоки и потребовать дополнительного развития электрических сетей.

Вместе с тем при прочих равных условиях рост плотности энергетической нагрузки европейских районов сокращает дальность передачи от отдельных генерирующих установок. Поэтому одним из возможных вариантов структуры ЕЭС при крупных генерирующих источниках будет в этих районах распределение электроэнергии в радиальном направлении на сравнительно небольшие расстояния на напряжениях 500—750 кВ с разветвлениями на напряжениях 220—330 кВ. Эти региональные системы объединяются сетью переменного тока на напряжение 750—1150 кВ для максимальной реализации межсистемного эффекта. Создаваемые таким образом крупные объединения суммарной мощностью 150—250 млн. кВт могут стать отдельными секциями Единой электроэнергетической системы страны. Эти секции объединяются с использованием вставок постоянного тока.

На межсистемную сеть будут накладываться сверхдальние связи. Они, как упомянуто выше, будут осуществляться воздушными линиями электропередачи постоянного тока напряжением 1500, 2200, а возможно, и 2500 кВ. Наконец, не исключена возможность в дальнейшем появления принципиально новых эффективных методов транспорта электроэнергии: газонаполненных, криогенных и других типов передачи.

Одной из важнейших задач совершенствования энергетического хозяйства, призванных обеспечить согласованность приходной и расходной частей энергетического баланса и повышение его эффективности, является экономия топлива. Под этим понимается: сокращение энергетических затрат и повышение коэффициента полезного использования энергии у конечных потребителей; повышение к. п. д. энергопроизводящего, преобразующего и транспортирующего оборудования. Как показали отечественные и зарубежные исследования, удельные затраты, требуемые для обеспечения экономии 1 т условного топлива, в 2—3 раза ниже затрат в добычу такого же количества первичных энергоресурсов. При развертывании мероприятий по экономии, объединенных в комплексную программу, потребность в топливе может быть уменьшена не менее чем на 15—20%. Вместе с тем необходимо строго различать ситуации, когда повышение энергоемкости вызывается внедрением новой технологии, экономически оправдываемой и прогрессивной, от случаев, когда экономия топлива может быть

Таблица 5-4

**Соотношение постоянных и переменных затрат
на электроэнергию и тепловую энергию**

Районы	Стоимость замыкающе- го топлива (угля), руб/т условного топлива	Соотношение затрат, %			
		электроэнер- гия		тепловая энергия	
		посто- янные	пере- менные	посто- янные	пере- менные
Центр европейской части СССР	22—24	38	62	36	64
	12—13	45	55	55	45
Восточная Сибирь ¹	2,5—3,5	86	14	80	20
Средняя Азия	15—18	51	49	46	54

¹ Числитель — по кузнецкому, знаменатель — по канско-ачинскому углю.

Можно выделить основные факторы, от которых зависит стоимость электрической и тепловой энергии.

В переменной части затрат:

от вида используемого топлива и его удельной стоимости. При этом, поскольку замыкающим топливом на электростанциях является энергетический уголь, особый интерес представляет динамика замыкающих оценок именно этого вида топлива;

от количества используемого топлива, т. е. от к. п. д. электрических станций и котельных, определяемого техническим уровнем производства, прежде всего единичной мощностью агрегатов и параметрами используемого на электростанциях пара.

В постоянной части затрат:

от технического уровня и стоимости преобразования энергии, т. е. единичной мощности агрегатов, электростанций и котельных, технического уровня и организации строительства и эксплуатации объектов. Все эти факторы определяют не только величину удельных капиталовложений, но и производные составляющие эксплуатационных затрат (амортизацию, затраты на ремонт, и т. д.);

от вида сжигаемого топлива;

от степени автоматизации производственных процессов, влияющей на затраты труда на обслуживание установок.

Анализ этих факторов позволяет выявить особенности формирования интегральных экономических показателей производства электроэнергии, и их влияние на развитие электрификации страны. Как известно, соотношение между стоимостью топлива и электроэнергии является одним из важных факторов, определяющих эффективность электрификации.

Нами проведен анализ соотношений между стоимостью электроэнергии, тепла и топлива прямого использования для случая, когда не меняются постоянные затраты на получение преобразованных энергоносителей. В качестве типовой электростанции принята перспективная ГРЭС на угле с 6 агрегатами по 800 МВт и котельные

на угле и газомазутном топливе с котлами ДКВР-20-13 производительностью около 50 Гкал/ч. Коэффициент полезного действия электростанции принят равным 36%, к. п. д. котельной на угле в соответствии с «Руководящими указаниями» — 80%, на газомазутном топливе — около 90%; число часов использования установленной мощности электростанций и котельных принято 5000 в год.

Постоянная часть приведенных затрат при нормативном коэффициенте эффективности 0,12 оценена экспертно для электростанции в размере 5 руб/(МВт·ч), или 5,8 руб/Гкал, для котельных на угле — 2,6 руб/Гкал и газовом топливе 1,3 руб/Гкал (на отпущенную энергию). Зависимости затрат на получение 1 Гкал энергии от стоимости топлива даны на рис. 5-1. Как видно, разрыв в стоимости преобразованных энергоносителей, особенно между стоимостью электроэнергии и другими энергоносителями, возрастает с увеличением стоимости топлива.

Стоимость энергоносителей меняется линейно по зависимости вида

$$y = a + bx,$$

где y — стоимость 1 Гкал энергоносителя; x — стоимость 1 т условного топлива; a — постоянные затраты на 1 Гкал; b — количество топлива (т условного топлива), потребляемого на 1 Гкал энергии, которое для расчета принято неизменным.

Так как к.п.д. электростанций меньше к. п. д. преобразования других установок, то стоимость 1 Гкал электроэнергии увеличивается быстрее, чем других энергоносителей (для топлива прямого использования величина $a=0$; при отсутствии преобразования $b=1/7$ т/Гкал (в условном топливе). При этом соотношение между стоимостью топлива прямого использования или тепла, получаемого при сжигании газа в котельных, и электроэнергией заметно уменьшается в диапазоне стоимости топлива от 5 до 20 руб/т

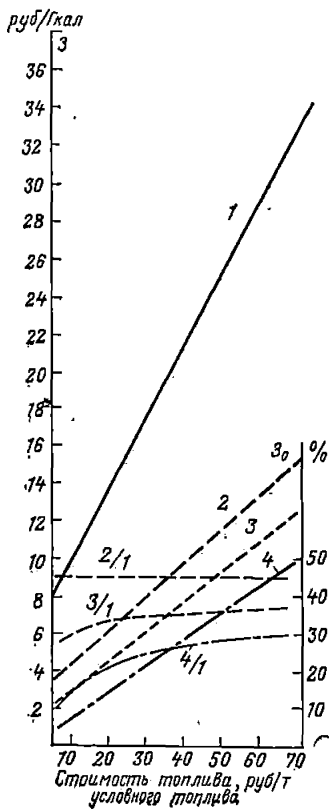


Рис. 5-1. Изменение соотношений в приведенных затратах на получение энергоносителей в зависимости от стоимости топлива.

$З$ — приведенные затраты на получение энергоносителей, руб/Гкал; $З_0$ — отношение приведенных затрат на электроэнергию к приведенным затратам на другие энергоносители, %; 1 — электроэнергия; 2 — тепловая энергия, полученная в котельных на твердом топливе; 3 — то же в котельных на газе; 4 — топливо прямого использования.

условного топлива. Соотношение между стоимостью тепла, получаемого в угольной котельной, и электроэнергией остается практически неизменным для всего рассматриваемого диапазона стоимости топлива.

Для периода 1913—1960 гг. характерна тенденция снижения стоимости топлива франко-генерирующая мощность за счет резкого сокращения затрат на транспорт угля¹. Это приводило к повышению экономичности применения электроэнергии по отношению к тепловой энергии и непосредственному использованию топлива. Однако следует отметить, что процесс улучшения экономических показателей добычи отдельных видов топлива после 1960 г. замедлился. Это в значительной мере связано с сужением возможностей (при современном уровне техники и концентрации мощностей топливобудывающих предприятий в европейской части СССР) дальнейшей механизации и автоматизации горных работ, ухудшением условий подземной добычи угля в связи с переходом на более глубокие горизонты. Все эти тенденции не могут не сказаться на формировании замыкающих оценок на твердое топливо в ближайшей перспективе и в принципе должны были бы замедлить рост эффективности электрификации в европейской части СССР. В то же время в восточных районах страны, прежде всего в Восточной Сибири, намечаемое освоение уникальных месторождений канско-ачинского угля с приведенными затратами на добычу и местный транспорт топлива менее 5 руб./т условного топлива будет формировать замыкающие оценки на энергетическое топливо. Относительная эффективность электрификации по сравнению с использованием тепла от котельных на том же топливе здесь будет заметно выше, чем в европейской части СССР.

Приведенные соображения не учитывали, однако, изменения перспективных технологических, экономических и экологических условий использования первичных и преобразованных энергоносителей. Необходимо иметь в виду, что возможности непосредственного использования рядового энергетического угля крайне ограничены. Это топливо часто вообще не может быть использовано по технологическим условиям, и требуется либо его облагораживание, либо оно вообще должно быть заменено качественными видами топлива. В других случаях использование рядового энергетического топлива непосредственно в потребительских установках технологически возможно, однако связано со снижением к. п. д. последних и не оправдывается экономически. Наконец, использование рядового угольного топлива непосредственно в потребительских установках, там, где возможно по технологическим условиям, ограничивается по соображениям охраны атмосферы на предприятиях и вблизи них.

Представление о возможностях использования различных видов топлива в отдельных типах потребительских установок дают материалы табл. 5-5.

¹ Мы не касаемся здесь изменения стоимости добываемого в СССР топлива за счет структурных сдвигов в топливобудовке (прежде всего увеличения доли газа и нефти); многие из этих сдвигов повлекли за собой одновременно и сокращение постоянной части затрат на генерирование электрической и тепловой энергии.

Виды топлива, возможные для использования в потребительских установках различного типа

Наименование установок	Виды топлива				
	Газ	Жидкое топливо	Кокс	Сортовой уголь	Энергетический бурый уголь
Доменные печи	++	-Т	++	-Т	+Т
Мартеновские печи	+	++	+	+Э	-Э
Рудоплавильные печи	++	++	+Э	++	+Э
Нагревательные печи в машиностроении	++	++	+ЭО	+ЭО	-ТЭО
Обжиговые печи	++	++	+Э	+Э	+Э
Нагревательные и реакционные топливные установки в химической промышленности	++	++	+Э	+ЭО	-ТЭО
Сушильные топливные печи	++	++	+Э	+ЭО	-ТЭО
Выпарные агрегаты	++	++	+Э	+ЭО	-ТЭО
Местные отопительные установки	++	++О	+Э	+ЭО	-ТЭО
Локомотивы	-Т	++	-Т	+Э	+ЭО
Двигатели внутреннего сгорания	-Т	++О	-Т	-Т	-Т

Условные обозначения: ++ — оптимальный по потребительским условиям вид топлива; + — возможно для использования; — — невозможно для использования; Т — ограничения по технологическим условиям; Э — ограничения по экономическим условиям; О — ограничения по условиям охраны среды.

Таким образом, в большинстве потребительских установок, непосредственно использующих топливо, существуют ограничения на применение твердых, особенно рядовых энергетических топлив. Особенно важно отметить, что ограничения в использовании твердых топлив носят не только экономический, но и технологический характер (следует подчеркнуть здесь также ограничение возможности автоматизации большинства производственных процессов при использовании твердых топлив).

Значительно шире возможности использования рядового энергетического топлива для выработки тепла в котельных, особенно крупных, и на ТЭЦ. Потребительский эффект при переходе к использованию мазута и газа здесь невелик, он составляет 2—3 руб/т условного топлива по сравнению с 6—8 руб/т условного топлива и выше в установках непосредственного использования топлива. Однако использование твердого топлива в установках, находящихся вблизи или в пределах крупных городов, должно быть максимально ограничено по экономическим соображениям.

Поэтому особое значение для оценки соотношений стоимости электроэнергии и других энергоносителей имеют перспективные значения замыкающих затрат на качественные виды топлива, прежде всего газ и жидкое топливо.

Для предстоящего десятилетия прогнозировалась достаточно стабильная величина замыкающих затрат на газ и мазут. Однако в «Руководящих указаниях к использованию замыкающих затрат на топливо и электрическую энергию» при оценке замыкающих затрат не могли быть учтены изменения, происшедшие в энергетическом балансе мира за последние годы. Эти изменения, как известно; привели к беспрецедентному росту цен на нефть — до 70 долл/т на уровне 1974 г. — а также значительному повышению цен на газообразное топливо. Ожидается¹, что, несмотря на возможное снижение цен, в дальнейшем они останутся на достаточно высоком уровне. В этих условиях эффективность экспорта качественного топлива существенно повышается. Поэтому необходимо уточнить значения замыкающих затрат, в первую очередь на нефть (и, следовательно, мазут) и газ в СССР с учетом возможностей и эффективности экспорта этих топлив. Можно ожидать, что это приведет к повышению замыкающих затрат на качественные виды топлива в СССР. Поэтому целесообразно рассмотреть, как будут складываться в ближайшей перспективе соотношения между стоимостью электроэнергии и других энергоносителей, когда электроэнергия по-прежнему будет получаться на базе рядового энергетического угля. Перспективные замыкающие затраты на него в европейской части СССР можно ожидать примерно в 20 руб/т условного топлива, а в Сибири в районе Канско-Ачинского бурого угольного бассейна — в среднем 5 руб/т условного топлива. Изменение этих соотношений рассмотрено на рис. 5-2, где даны значения замыкающих затрат на различные энергоносители и разница между ними при изменении стоимости качественного топлива почти в 2 раза по отношению к исходным перспективным значениям.

Проведенные расчеты показывают, что при первоначальных значениях замыкающих затрат на качественные виды топлива в перспективном периоде разница между электроэнергией и другими энергоносителями будет весьма стабильной, с некоторой тенденцией к уменьшению. Если же принять во внимание возможное повышение стоимости качественного топлива, то разница в замыкающих затратах на электроэнергию и другие энергоносители, по видимому, сократится в 1,5—2 раза. Это возможное в перспективе сближение затрат, по нашему мнению, при определенных условиях может стать важным фактором повышения эффективности и, следовательно, уровня электрификации народного хозяйства.

Средний к. п. д. электрических конденсационных станций с 1917 по 1971 г. увеличился приблизительно в 3 раза (с 11 до 36%). За это же время значительно возрос к. п. д. котельных установок, производящих пар и горячую воду: с учетом к. п. д. котельных тепловых электростанций он увеличился с 38 до 75—80% (см. приложение 4). Рост тепловой экономичности генераторов тепловой и электрической энергии отражает главные тенденции научно-технического прогресса в энергетике, заключающиеся в повышении параметров используемого на электростанциях пара, увеличении единичной мощности оборудования, рационализации режимов его работы, совершенствовании методов сжигания топлива.

¹ См., например, материалы дискуссии по энергетическому кризису в капиталистических странах в журнале «Мировая экономика и международные отношения» (1974, № 1—4).

Первые электростанции расходовали на каждый выработанный киловатт-час около 10 000 ккал, что отвечало к. п. д. 4,3%. Однако уже до первой мировой войны лучшие электростанции России имели к. п. д. 11—12% и выше, а в Западной Европе 22—23% [Л. 45]. Повышение параметров пара на электростанциях в первые пятилетки и увеличение единичной мощности агрегатов обеспечило существенный рост к. п. д. на конденсационных электростанциях (табл. 5-6).

После 1945 г. началось освоение давления пара 130 кгс/см², а затем и сверхкритических параметров 240 кгс/см² с одновременным увеличением мощности агрегатов до 150, 200, а

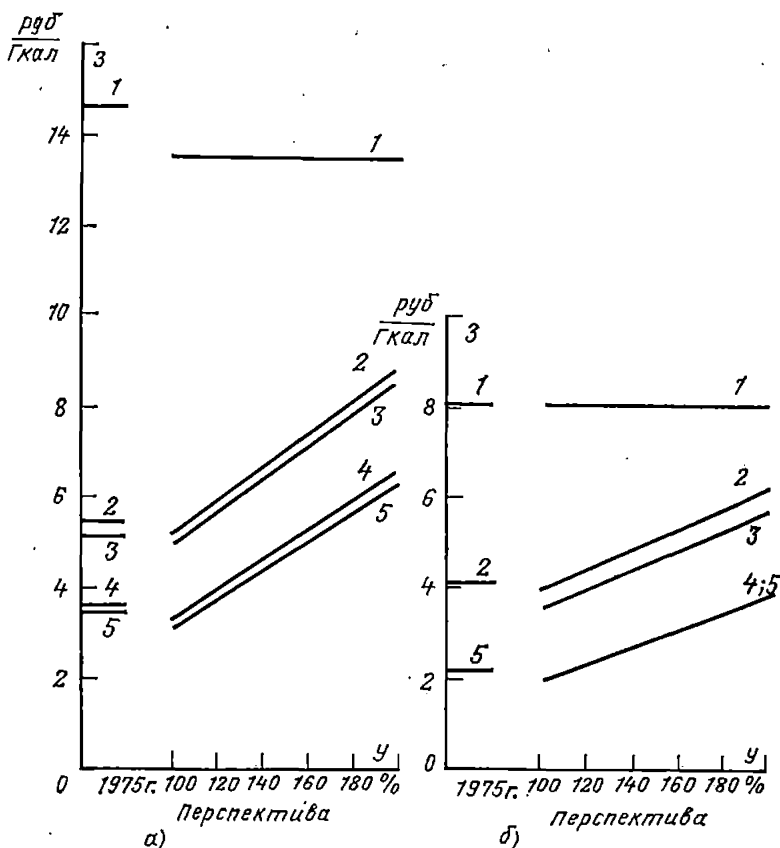


Рис. 5-2. Возможное изменение значений приведенных затрат на энергоносители в зависимости от удорожания качественного топлива к первоначальному перспективному значению.

а — европейская часть СССР; б — Сибирь; 1 — электроэнергия; 2 — тепловая энергия от котельных на мазуте; 3 — то же на природном газе; 4 — топливо прямого использования (природный газ); 5 — то же мазут.

Таблица 5-6

**Удельные расходы топлива, отчетные и проектные
к. п. д. на электростанциях**

Мощность агрега- тов, МВт	Вид топлива	Параметры пара		Время реализации, годы		Расход условного топлива, г/вырабо- танный кВт·ч	К. п. д. нетто, %
		Давление, кгс/см ²	Темпе- ратура, °С	Первый агрегат	Серия		
10—16	Уголь	16—20	350—375	—	1920—1930	570	21,5
24—25	"	30—35	430—425	1930	1933—1946	520	23,6
50—100	"	90	500—535	1940	1950—1960	420	29,6
150	Уголь, газ—мазут	130	565/565	1959	1950—1965	350	35,2
200	"	130	565/565	1959	1960—1975	320	38,4
300	"	240	565/565	1953	1965—1975	310	39,7
500	Уголь	240	560/565	1968	После 1975	315	39,1
				1968*			
800	"	240	560/565	1971	После 1975	312	39,4
800	Газ—мазут	240	560—565	—	После 1975	308	40,0

* В числителе — двухвалный, в знаменателе — одновалный агрегат.

позднее 300 МВт. Пущены первые образцы агрегатов 500, 800 и 1200 МВт.

Укрупнение мощностей агрегатов и электрических станций привело к снижению удельных капиталовложений и эксплуатационных издержек на их создание и эксплуатацию. Можно отметить два заметных изменения в общей капиталоемкости строительства электростанций. Первое связано с увеличением мощности агрегатов с 25 до 100 МВт и соответствующим увеличением единичной мощности электростанций со 100 до 400—600 МВт. Оно относится в основном к 1945—1950 гг. Удельные капиталовложения на строительство электростанций за сравнительно короткое время были снижены в сопоставимых ценах примерно в 1,5 раза — с 300 до 200—220 руб/кВт. Второе изменение относится к 1950—1960 гг., когда был осуществлен переход к блочным схемам на электростанциях с одновременным укрупнением мощности агрегатов до 160 и 200 МВт. Дальнейшее повышение мощности агрегатов до 300 и 500 МВт уже не дало такого существенного снижения капиталоемкости¹.

В связи с ограниченными возможностями дальнейшего улучшения технических и экономических параметров классической

¹ Укрупнение агрегатов и электростанций сопровождалось созданием мощных энергетических систем, где крупные генерирующие установки могли работать экономично и надежно. Это вызвало увеличение (в расчете на 1 кВт вводимой мощности) капиталовложений в сетевое хозяйство, которое должно учитываться при исследовании динамики капиталоемкости энергетики.

энергоэнергетики повышение эффективности отрасли основывается прежде всего на использовании принципиально новых технических решений.

Мощные атомные электростанции могут обеспечить некоторое снижение приведенных затрат на электроэнергию по сравнению с современными конденсационными электростанциями (уже при стоимости органического топлива 18—20 руб/т условного топлива по приведенным затратам) (см. табл. 5-2) и относительный рост экономичности электроэнергии по отношению не только к топливу прямого использования, но и к пару, и горячей воде, получаемой от ТЭЦ и котельных.

Экономичность получения пара и горячей воды на ТЭЦ и в котельных, как известно, в значительной мере зависит от их мощности. В отличие от объединенных электроэнергетических систем, где концентрация мощностей определяется в первую очередь техническими и экономическими параметрами генерирующих источников, концентрация мощностей по производству тепловой энергии определяется плотностью тепловых нагрузок в локальном районе и темпами их роста. Анализ, проведенный в институте «Энергосеть-проект», показал, что в обозримой перспективе единичная мощность агрегатов ТЭЦ достигает не более 250—500 МВт для крупных промышленных центров. Для небольших промышленных центров и населенных пунктов, особенно в сельской местности, теплоснабжение по-прежнему будет ориентироваться на весьма дорогие котельные установки (табл. 5-7). Все это не позволяет рассчитывать, что применение ядерной энергии для получения пара и горячей воды на ТЭЦ и котельных сможет улучшить показатели производства тепла в такой же степени, как при производстве электроэнергии.

Развитие атомной энергетики будет способствовать снижению средних затрат в электроэнергетическом хозяйстве. Однако на эффективность электрификации, которая зависит от значений не средних, а замыкающих затрат на электроэнергию, влияние развития АЭС будет сказываться с замедлением. Исследования показывают, что атомная энергетика в течение значительного времени не будет замыкать баланс котельно-печного топлива на электростанциях и, следовательно, ее показатели не будут формировать замыкающие затраты на топливо и электроэнергию. Не исключено, что влияние атомной энергетики будет проявляться лишь косвенно, через масштабы ее развития. От них при заданном уровне потребления энергетических ресурсов будут зависеть объемы добычи и, следовательно, замыкающие характеристики органического топлива.

Повышение экономичности электроэнергетического хозяйства в перспективе связывается, как указывалось, также с развитием новых способов получения электроэнергии, прежде всего МГД-генераторов и особенно термоядерного синтеза.

Можно полагать, что конец XX — первое десятилетие XXI века будет характеризоваться превращением атомных электростанций в замыкающий источник энергии. В это время, возможно, получат широкое промышленное развитие плазменные методы производства электроэнергии (МГД-генераторы, управляемая термоядерная реакция), которые обеспечат качественный скачок эффективности электроэнергетики. Вплоть до его осуществления электроэнергия будет оставаться самым дорогим энергоносителем.

Приближенные технико-экономические показатели производства тепловой энергии
(пара и горячей воды) на котельных различной мощности

Производительность котельной, Гкал/ч	Уголь	Тип котла	Число кот- лов, шт.	Капиталовложения (К), эксплуатационные (И) и приведенные (З) затраты, руб/Гкал						Среднегодовой к. п. д.	
				Газ—мазут			Уголь			Газ— мазут	Уголь
				К	И	З	К	И	З		
—	0,6—0,73	„Универсал“ (отопительные)	2	—	—	—	19—24	7,8—9,8	10,1—12,7	—	55—60
8,4	6,0	ДКВР-2,5-13	4	12,2	2,5	3,9	24	4,6—4,9	7,5—7,8	80	60—65
63,8	48,4	ДКВР-20-13	4	3,3	0,8	1,2	4,2	0,9	1,4	81—82	70—75
140	—	ПТВМ-30м	4	1,84	0,51	0,73	—	—	—	82—85	—
400	—	ПТВМ-100	4	1,9	0,41	0,65	—	—	—	83—87	—

Примечание. Число часов использования тепловой мощности 3000, к. п. д. даны по расчетному режиму, стоимость в ценах 1969 г. См. [Л. 92].

ЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Развитие топливно-энергетического комплекса находится в тесном взаимодействии с окружающей средой. Сегодня рост производства и потребления энергетических ресурсов вступает в такую фазу, когда воздействие энергетики на окружающую среду охватывает значительные территории, затрагивая интересы планеты в целом. Поэтому решение возникающих экологических проблем, связанных с дальнейшим развитием энергетики, потребует от народного хозяйства всех стран крупных материальных затрат и будет действовать в сторону удорожания топливно-энергетического комплекса.

Уже в 1970 г. с продуктами сгорания во всем мире выбрасывалось до 100 млн. т твердых веществ, около 150 млн. т сернистого ангидрида, 300 млн. т окиси углерода и более 50 млн. т окислов азота [Л. 101].

В настоящее время 70% от 350 млн. т загрязнений, выбрасываемых в воздух в США, образуется при сжигании топлива. При условии сохранения такого соотношения в будущем на уровне 1980 г. для контроля и очистки потребуются количество энергии, эквивалентное 1,5%, всех энергетических потребностей США. Важнейшие мероприятия по устройству очистных сооружений, созданию и эксплуатации оборудования по очистке на электростанциях и передвижных источниках потребует дополнительных затрат энергии от 3 до 7%¹.

Задача заключается в том, чтобы свести до минимума вредное воздействие энергетики на окружающую среду, полностью обеспечив при этом предстоящие потребности человечества в топливе и энергии за счет рационального использования природных энергоресурсов.

На современном этапе все новые технические решения, направленные на повышение эффективности топливно-энергетического комплекса или его отдельных подсистем и функциональных элементов, должны проходить экологическую проверку. Еще более это касается крупных отраслевых и технологических сдвигов в структуре энергетического хозяйства и изменения соотношений между видами и формами используемой энергии.

¹ Доклад 2. 1-9 на МИРЭК-IX.

С этой точки зрения должно быть подчеркнуто прежде всего положительное влияние электрификации на взаимосвязи энергетики и окружающей среды. На стадии использования энергии электрификация выступает как это показано в гл. 8, не только в качестве источника особо чистой энергии, но и важным фактором создания специальных «природосберегающих» технологий. Помимо этого специфические свойства электроэнергии позволяют наиболее благоприятно с экологической точки зрения осуществлять ее производство и распределение. Возможность концентрации энерго мощностей и централизации энергоснабжения позволяет освободиться от мелких, трудно контролируемых объектов, размещать генерирующие установки в районах, удаленных от центров потребления, снижая тем самым их воздействие на окружающие населенные центры. Осуществляемая у нас в стране в широких масштабах теплофикация обеспечивает не только снижение объема сжигаемого топлива, но и замену мелких изолированных источников получения тепла крупными теплоэлектроцентралями, производящими меньшее загрязнение атмосферы. Ожидаемое внедрение дальней теплофикации позволит выносить ТЭЦ за пределы населенных пунктов и тем еще больше снизить влияние энергетики на состояние окружающей среды.

Вместе с тем нельзя не сказать о теневых сторонах опережающего развития электрификации и электроэнергетики, заключающихся прежде всего в увеличении общих размеров использования энергетических ресурсов. Это связано со сравнительно низким к. п. д. использования топлива на электростанциях, а также созданием мощных концентраций преобразования топлива с соответствующими концентрациями экологических вредностей. Задача устранения вредных экологических последствий развития электроэнергетики должна решаться в комплексе со всеми мероприятиями по охране природы в связи с развитием энергетического производства в целом.

Экологические аспекты развития энергетического хозяйства на стадии добычи, преобразования и транспорта энергетических ресурсов носят весьма многосторонний характер и охватывают следующие проблемы: охрану воздушного бассейна от теплового, аэрозольного и радиационного загрязнения и сохранение газового со-

става атмосферы; охрану водных ресурсов от теплового, химического и радиационного загрязнения и восстановление водных ресурсов; рациональное использование земельных ресурсов. Развитие электроэнергетики вызывает следующие воздействия на окружающую среду: атмосферное загрязнение, тепловое загрязнение воды, безвозвратные потери водных ресурсов при водоснабжении электростанций, необходимость устранения отходов на классических тепловых электростанциях и радиоактивных отходов АЭС, отчуждение территории электростанциями, линиями электропередачи, создаваемыми водохранилищами, изменение режима водотоков при гидроэнергостроительстве.

Нерациональное использование природных ресурсов и в ряде случаев неоправданная концентрация топливопотребления в капиталистических странах, в том числе за счет чрезмерной их автомобилизации, наносит экономике этих стран большой ущерб. Так, по данным представленных на МИРЭК-IX докладов, ежегодные убытки только от загрязнения воздушного бассейна в США в 1970 г., учитывая вред, наносимый здоровью людей, материалам и живой природе, можно оценить в 7—21 млрд. долл. при наиболее достоверной оценке 14 млрд. долл. При этом убытки от таких болезней, вызванных загрязнением воздуха, как эмфизема легких, бронхиты, астма и т. д. составляют 1,6—7,6 млрд. долл. В этот расчет не включены убытки из-за потерь рабочего времени. Прямые потери от загрязнения воздуха в материалах и живой природе оценивались в 1970 г. в 4—6 млрд. долл. в год. Ущерб различным видам собственности, наносимый в результате воздействия окислов серы и взвешенных частиц, составляет от 3,4 до 8,4 млрд. долл. в год¹.

Хотя в этом отношении положение СССР несравнимо более благоприятное, изучение экологических последствий развития топливно-энергетического комплекса и, в частности, электроэнергетики, для нашей страны приобретает большое государственное значение.

Академик М. А. Стырикович отмечает, что в настоящее время суммарное выделение энергии за счет использования природных энергетических ресурсов составляет около 0,02% теплового баланса планеты. При современных темпах роста потребления энергии — бо-

¹ Доклад 2, 1-9 на МИРЭК-IX.

лее чем вдвое за каждые 20 лет — угрожающее значение доли антропогенной энергии в тепловом балансе планеты, равное 1%, может быть достигнуто не ранее чем через 100 лет. Гораздо опаснее с точки зрения глобальных изменений климата может оказаться нарушение теплового баланса за счет выбросов в атмосферу аэрозолей и увеличения концентрации углекислого газа при сжигании топлива [Л. 101].

В докладе, представленном на МИРЭК-IX Мировой метеорологической организацией¹ указывается, что объем взвешенных частиц достиг в настоящее время 200—400 млн. т в год. Это составляет лишь 10—20% загрязнений за счет природных факторов — вулканической деятельности, эрозии почв и т. п. Загрязнение атмосферы аэрозольными частицами в результате производственной деятельности человека понижает температуру атмосферы на $0,05^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере, напротив, приводит к повышению температуры на $0,01^{\circ}\text{C}$ за тот же период. Следовательно, если повышение аэрозольных выбросов и выбросов углекислого газа будет продолжаться наращиваться теми же темпами, что и потребление энергоресурсов в настоящее время, то в совокупности они могут привести не к повышению, а понижению температуры воздуха.

Однако в перспективе можно ожидать сокращения темпов роста выбросов аэрозолей и углекислого газа в атмосферу. Это определяется общим ростом к. п. д. использования органического топлива в связи с повышением единичной мощности топливоиспользующих установок; прогрессом в технике очистки дымовых газов от летучей золы; расширением возможностей применения эффективных золоуловителей и дальнейшим ростом их к. п. д.; увеличением доли ядерного горючего, использование которого не связано с выделением углекислого газа и твердых летучих. Последствия этих изменений должны быть специально изучены.

Если, по-видимому, о непосредственной опасности глобального изменения климата говорить еще нельзя, то локальное тепловое загрязнение атмосферы и особенно загрязнение ее взвешенными частицами приобретает сейчас все более массовый характер. Насыщенность атмосферы взвешенными частицами над промышленны-

¹ Доклад 2 1-9 на МИРЭК-IX.

ми комплексами уже в настоящее время в 10 раз выше, чем в сельской местности. При этом концентрация газов может в некоторых случаях превышать в 25 раз концентрацию в сельской местности. В отдельных зонах с особо высокой плотностью тепловыделений влияние загрязнений на климат сопровождается повышением температуры на 2—3°, но вследствие самой изолированности таких зон не имеет глобального значения. Значительно более важными последствиями таких загрязнений является снижение солнечной радиации в городах на 15—20% и продолжительности солнечного сияния на 5—15%; причем в городах с особо загрязненной атмосферой эти величины могут быть еще выше. Наконец, наиболее важным последствием загрязнений атмосферы взвешенными частицами является их воздействие на дыхательные органы и, следовательно, здоровье людей. Это воздействие тем более важно, что оно сопровождается выделением ряда газообразных токсических продуктов полного и неполного сгорания топлива: окислов серы, углерода, углеводородов, а также образованием (при высоких температурах) окислов азота, получающихся из азота воздуха. При высоких концентрациях и соответствующих условиях все эти выбросы могут вызывать так называемые смоговые явления, от которых хронически страдает ряд крупных городов капиталистических стран (Нью-Йорк, Бостон, Филадельфия, Лондон, Бирмингем и другие).

Для организации борьбы с загрязнениями такого рода необходимо знать роль отдельных энергетических установок в их формировании.

Мелкие отопительные и технологические установки дают сравнительно мало окислов азота, однако их работа связана с большим количеством загрязнений продуктами неполного сгорания топлива, прежде всего окисью углерода и сажей. Крупным источником загрязнения являются автомобили с бензиновыми двигателями, которые выбрасывают большое количество углеводородов, окиси углерода и окислов азота. Тепловые электростанции на органическом топливе являются серьезным источником загрязнений атмосферы взвешенными частицами, окисью углерода, окислами азота, а в случае сжигания сернистых топлив также сернистым ангидридом. На основе представленных на МИРЭК-IX данных в табл. 6-1 приводится структура

источников загрязнений среды в ФРГ. В США на тепловые электростанции приходится 56%, загрязнений воздуха сернистым ангидридом, 36% окислами азота, 33% твердыми частицами. Автомобильный транспорт этой страны дает 87% выбросов CO, 60% окислов азота и свыше 90% углеводородов.

Таблица 6-1

Структура источников загрязнений природной среды в ФРГ¹

Источники загрязнений	Потребление топлива	Выбросы, %	Частицы			
			CO	C_mH_n	NO _x	SO ₂
Всего	100	100	100	100	100	100
В том числе						
электростанции	25	20	0,2	1	22	38
автотранспорт	12	11	85	79	46	—
мелкие отопительные установки	25	53	Около	20	—	20
прочие	38	16				
			15		32	42

¹ Доклад 2.6-4 на МИРЭК-IX.

Для оценки роли электростанций в локальном загрязнении атмосферы приведем следующие данные:

по американским публикациям электростанция мощностью 1000 МВт, сжигающая 7000 т угля в сутки с содержанием двуокиси серы 3,3%, даст выбросы: окиси углерода 27 000 т, двуокиси серы 550 т, двуокиси азота 70 т¹.

По данным специалистов ФРГ электростанция мощностью 700 мВт с трубой 122 м, расположенная на равнинной местности, загрязняет воздух на 94% (345 мг/м³) от максимума, установленного для выброса двуокиси серы в течение суток и 16%, от годового стандарта. Ее участие в загрязнении частицами может достигать 15% среднесуточной нормы. Предприятие по переработке нефти, расположенное в таких же условиях, участвует на 30%, как в среднесуточном, так и годовом максимуме загрязнения по SO₂ и 10% в среднесуточном максимуме по частицам.

Основное направление в борьбе с выбросами для технологических установок состоит в переводе их на электроэнергию, а там, где это невозможно по техноло-

¹ Доклад 2.6-3 на МИРЭК-IX.

гическим или экономическим условиям, переходе на использование качественных видов топлива: природного газа и малосернистого мазута¹. Положение с выбросами от мелких отопительных установок в СССР с его высококонцентрированной промышленностью и развитым централизованным теплоснабжением от ТЭЦ и крупных котельных² лучше, чем в какой-либо другой стране мира. Многие города СССР (Ленинград, Москва, Ангарск и другие) полностью снабжаются теплом от ТЭЦ и крупных котельных. Однако и в СССР еще имеется большое число мелких неэкономичных котельных с низкими к. п. д. и отсутствием автоматизации режима горения топлива. Задача заключается в дальнейшем развитии централизованного теплоснабжения, которое по условиям концентрации и плотности тепловых нагрузок в перспективе может обеспечить покрытие около 80% всего теплопотребления городов. При этом сжигание газа и малосернистого мазута должно стать обязательным для котельных и ТЭЦ, находящихся в пределах крупных городских агломераций.

Опыт Москвы, Ленинграда, Киева и других городов, где качественные виды топлива на ТЭЦ и котельных полностью вытеснили уголь, показывает большое значение этого мероприятия для уменьшения выбросов в атмосферу.

Условия планового хозяйства позволяют реально воздействовать на процессы автомобилизации СССР. Социалистический путь автомобилизации основывается на создании комплексной государственной транспортной системы при первоочередном развитии пассажирского транспорта общего пользования, что, помимо экономических преимуществ, обеспечивает резкое снижение концентрации вредности от автотранспорта. Тем не менее в перспективе задача сокращения выбросов от автотранспорта может и в СССР стать острой. Ее решение сложно и заключается в создании топливных двигателей принципиально новой конструкции, в том числе на сжиженных газах и водороде или, при определенных

¹ В связи с этим необходима дифференциация замыкающих затрат на мазут в зависимости от содержания в нем серы, так как разница в потребительском эффекте от сжигания мазутов в установках различного типа достигает 7 руб. за 1 т условного топлива.

² От них покрывается свыше 50% промышленного и коммунально-бытового теплопотребления в городах.

условиях, в широком применении электромобилей для внутригородского использования.

В СССР строго соблюдаются санитарные нормы для защиты окружающей среды от загрязнений атмосферы выбросами электростанций. Они направлены на недопущение вредных концентраций выбросов на уровне земли. Так, максимальное значение концентрации двуокиси серы, равно как и концентрации летучей золы и сажи на уровне земли, должна быть не выше $0,5 \text{ мг/м}^3$. Если эти требования при конкретном виде топлива не обеспечиваются, то объект в намеченном виде запроектирован быть не может.

Для крупных электростанций достижения в борьбе с различными выбросами неодинаковы. Технология золоулавливания в настоящее время освоена. Применение электростатических фильтров позволяет улавливать 97—99% золы. Однако в эксплуатационных условиях гарантированные значения к. п. д. обычно практически не достигаются, и здесь необходима дальнейшая работа машиностроительной промышленности. Разрабатываются методы снижения количества образующихся высокотоксичных окислов азота.

Имеющийся опыт свидетельствует о том, что основным путем снижения выбросов окислов азота являются режимные и конструкционные мероприятия по подавлению окислов в процессе их образования.

К числу методов регулирования образования окислов азота относятся: низкие избытки воздуха при сжигании, ступенчатая подача воздуха, рециркуляция дымовых газов и др.

Серьезной и трудноразрешимой является задача ограничения выбросов серы при сжигании больших количеств топлива на электростанциях. Общий выброс двуокиси серы в мире оценивается в 84 млн. т в год. Сооружение высоких дымовых труб (до 320 м), что имеет место во всех развитых странах мира, в известной мере паллиатив. Высокие трубы, увеличивая капиталовложения в крупные электростанции на 1—2%, уменьшают концентрацию выбросов у поверхности земли. Эффективность труб зависит от погодных условий, поэтому их сооружение должно дополняться на крупных электростанциях созданием запасов малосернистого топлива. На его использование переходят при особо неблагоприятных погодных условиях или превыше-

нии норм предельно допустимой концентрации окислов серы в окружающей атмосфере по другим причинам.

Более полным решением было бы удаление двуокиси серы из дымовых газов или обессеривание топлива перед сжиганием. Следует отметить, что десульфуризация топлива дает очевидное преимущество, так как позволяет избежать загрязнения, производимого разобщенными источниками, не поддающимися контролю, в том числе мелкими отопительными установками, автомобилями и т. п. В настоящее время разрабатывается несколько способов обессеривания, однако их промышленное применение наталкивается на технические и экономические трудности. Разрабатываются способы очистки от сернистого ангидрида дымовых газов. Еще более эффективным представляется направление, основанное на газификации сернистых топлив. Топливо в результате неполного сжигания под давлением превращается в горячий газ, который охлаждается и очищается от сернистых соединений и золы, а затем он дожигается в топках энергетических котлов.

Значительный интерес представляют разрабатываемые в США схемы «сжигания — газификации» углей и нефтяного топлива в кипящем слое, образуемом в нижней части топочной камеры при подаче топлива в слой молотого известняка или доломита. При этом возможно повышение к. п. д. по сравнению с раздельными схемами и улавливание значительной части серы и окислов азота. Однако одновременно сужается регулировочный диапазон работы оборудования электростанций из-за необходимости поддержания процесса в кипящем слое. Поэтому продолжают работы над раздельными схемами, при которых установки по газификации отделены от электростанций, но передают им низкокалорийный газ как чистое топливо.

Кардинальным решением вопроса устранения загрязнений атмосферы взвешенными частицами и газами является развитие атомной энергетики, не связанной с использованием органического топлива. Однако атомная энергетика ставит свои экологические проблемы. К их числу относится радиационное загрязнение атмосферы и воды. В настоящее время никакая другая отрасль промышленности не располагает такими мощными средствами защиты окружающей среды, как

ядерные электростанции. Благодаря этой защите, которая составляет значительную долю затрат на развитие атомной энергетики, атомные электростанции рассматриваются во всем мире как наиболее чистые энергетические источники, размещение которых допустимо непосредственно в районах потребления электроэнергии. Вместе с тем сооружение и эксплуатация ядерных электростанций должны находиться под неотступным централизованным государственным контролем; который в полной мере можно осуществлять только в условиях социалистического хозяйства.

Как известно, в ходе эксплуатации на некоторых атомных электростанциях США были обнаружены конструктивные и технологические дефекты, вынудившие федеральную энергетическую комиссию временно вывести из эксплуатации для проверки ряд АЭС определенных серий изготовления. Аналогичная ситуация возникла в Японии.

Проблемой является захоронение радиоактивных отходов атомных установок. По мнению зарубежных специалистов наиболее приемлемо хранение отходов в соляных шахтах — довольно многочисленных, вместительных и достаточно пластичных, чтобы избежать трещин. Такое хранение увеличивает стоимость 1 кВт·ч атомных электростанций на 1—2%.

Размеры загрязнения вод от многих элементов топливно-энергетического комплекса, как правило, незначительны. Относительно большими являются сбросы загрязненных вод при добыче угля, нефти и обмывающих вод и растворов регенерации очистных фильтров ТЭС. В ряде случаев источником загрязнений поверхностных вод являются также золоотвалы ТЭС. Единственным крупным источником химического загрязнения воды являются нефтеперерабатывающие заводы и танкеры, перевозящие большое количество нефти. Однако в последнее время достигнуты успехи в борьбе с этими загрязнениями. Очистные сооружения НПЗ при условии их правильной эксплуатации хотя и достаточно дороги, однако весьма эффективны. Разработаны и широко внедрены мероприятия, снижающие на 80% сброс балластных вод, разрабатываются новые типы танкеров с двойным дном, что позволит снизить опасность разливов нефти по поверхности воды в случае механических повреждений корпуса судов.

Серьезные проблемы охраны водной среды стоят перед электроэнергетикой. При массовом строительстве электрических станций существенно усложняется их техническое водоснабжение. Как известно, на тепловых электростанциях вода используется для охлаждения конденсата. При к. п. д. крупных тепловых электростанций на органическом топливе около 40% примерно 60%, поступающего в турбины тепла рассеивается в окружающей среде, из них 10—15% уходит с дымовыми газами и 45—50% отводится охлаждающей водой. Для атомных электростанций, к. п. д. которых ниже, отвод тепла больше, соответственно потребность в охлаждающей воде увеличивается в 1,3—1,5 раза.

Общая годовая потребность электрических станций в свежей воде, забираемой из поверхностных источников, составляет уже существенную величину в водном балансе страны, более 3% суммарного стока рек европейской части страны при 50%-ной обеспеченности. В отдельных районах страны (Центр, Украина, Южный Урал, Закавказье, Средняя Азия) с относительно ограниченными водными ресурсами водоснабжение крупных электрических станций уже сейчас представляет собой серьезную проблему. Так, расход воды на охлаждение в открытом цикле электростанции мощностью 3—4 млн. кВт составляет около 100—120 м³/с, а АЭС такой же мощности 130—180 м³/с.

Для разбавления теплых сбросных вод требуется большой постоянный объем воды. При этом особенно остро стоит вопрос о тепловом загрязнении водоемов сбросными водами тепловых электростанций. Этот вопрос, как и сам термин «тепловое загрязнение», появился сравнительно недавно, 10—15 лет назад, но приобретает все большее значение в связи с постоянно увеличивающейся концентрацией мощности тепловых электростанций¹. Повышение температуры воды под влиянием сбросов на электростанциях вызывает нарушение биологического равновесия, снижает сопротивляемость инфекциям и при превышении определенных пределов ведет к необратимым изменениям.

¹ Проблема теплового загрязнения смягчается за счет развития теплофикации, так как потребность в охлаждающей воде ТЭЦ ограничивается работой теплофикационных турбин в конденсационном режиме.

Наибольшее влияние на биологические процессы в водной среде оказывает содержание кислорода в поверхностном слое воды; нормальной для существования организмов считается концентрация кислорода более 4—5 мг/л. Большая часть кислорода, содержащегося в поверхностном слое воды, поглощается микроорганизмами, обеспечивающими минерализацию и разложение растворенных в воде органических загрязнителей. Тепловые сбросы, которые повышают температуру воды, стимулируют процесс самоочищения и, следовательно, понижают концентрацию кислорода в водоемах. С другой стороны, реаэрация, обусловленная турбулентностью и повышением температуры, увеличивает содержание кислорода в воде.

Нарушение баланса кислорода, содержащегося в воде, происходит главным образом за счет загрязнения вод промышленными и бытовыми стоками, а не тепловыми сбросами электростанций. Соответственно первоочередными задачами охраны водной среды является ужесточение требований по очистке промышленных и бытовых стоков.

Следует учитывать, однако, что и повышение температуры воды воздействует на водную фауну. Биологически лишь немногие виды рыб способны жить при температуре выше 35° С. Повышение температуры до 36—40° С ведет к исчезновению ряда биологических видов и резкому снижению биологического противодействия воды заражению и инфекции.

Ограничения чрезмерного повышения температуры в реках и озерах и увеличение потребности воды для охлаждения в целом требуют постоянного контроля над температурой и количеством сбрасываемых вод в поверхностные водоемы. При этом повышение температуры в водоемах в определенных тщательно контролируемых размерах может в конкретных обстоятельствах полезно использоваться в целях замедления образования льда и увеличения периода судоходства, а также искусственного рыборазведения в прудах-охладителях. Будучи относительно замкнутыми экологическими системами, пруды-охладители обходятся значительно дешевле, чем обычные градирни, и дают меньший безвозвратный расход воды на испарение. Повышенные температуры воды в этих прудах позволяют заселять их во всей средней полосе СССР тепло-

любимыми растительноядными рыбами (толстолобик, белый амур), что предохраняет пруды от зарастания водной растительностью и ограничивает цветение воды в летний период. Выращивание таких рыб без дорогостоящей органической подкормки обеспечивает получение 25—30 центнеров рыбы с 1 га поверхности пруда. Это значительно превышает по ценности сельскохозяйственную продукцию, получаемую с аналогичной площади угодий, затопляемых при сооружении прудов-охладителей. Для южных районов страны, когда в летний период температуры могут кратковременно превышать допустимые значения, целесообразно дополнять пруды-охладители пиковыми градириями. Наконец, при достаточно надежном биологическом контроле пруды-охладители могут стать важными рекреационными объектами.

В то же время в ряде густозаселенных районов страны создание крупных прудов-охладителей, занимающих большие территории *, будет вызывать существенные затруднения, даже если прудами-охладителями будут служить водохранилища ГЭС. Проблема охлаждения воды тепловых электростанций решается частично путем сооружения градирен. Это существенно сокращает потребность в воде, но менее экономично. Однако еще не изучен вопрос о влиянии значительного выброса в атмосферу водяных паров и тепла с ограниченной площади на микроклимат прилегающих территорий. Более благоприятными являются воздушно-конденсационные установки системы Геллера, где охлаждение конденсата осуществляется в специальных теплообменниках конвективного действия. Но в летнее время при температуре наружного воздуха более 10°С такая система, как ожидается, будет менее экономична, чем другие оборотные системы. Кроме того, эти установки требуют значительного расхода алюминия 4—5 кг/МВт. Сравнительная стоимость систем охлаждения воды на тепловых электростанциях приводится в табл. 6-2 **.

Вопросы рационального использования земли при сооружении объектов топливно-энергетического комплекса также являются весьма сложными, хотя для

* Например, для ГРЭС мощностью 4000 МВт 16—25 км².

** По материалам Комитета по электроэнергии Европейской экономической комиссии ООН.

Таблица 6-2

**Капиталовложения на создание систем охлаждения
воды на крупных тепловых электростанциях
с агрегатами мощностью свыше 600 МВт, долл/кВт**

Охлаждающие системы	ТЭС	Ядерные электростанции
Открытый цикл	2—3	3—5
Охлаждающие резервуары (искусственные пруды)	4—6	6—9
Градирии с тягой воздуха:		
искусственной	5—8	8—11
естественной	6—9	5—13

СССР с его обширной территорией они не так остры, как в развитых странах Западной Европы и Японии. Наибольшие изъятия земель имеют место при создании объектов топливодобывающей и перерабатывающей промышленности, особенно открытых разработок углей, шахт, нефте- и газопроводов, нефтеперерабатывающих заводов и углеобогатительных предприятий. Здесь особой проблемой является рекультивация территорий, занятых под отвалы извлекаемой пустой породы. Опыт СССР показал возможность вполне удовлетворительно решать эту проблему.

Серьезные проблемы, особенно в густозаселенных районах, связаны также со строительством тепловых и гидравлических электростанций. Строительство тепловых электростанций, особенно ядерных, вблизи центров потребления электроэнергии имеет большой экономический смысл. Однако наряду с затруднениями по снабжению топливом, ограничена возможность изыскания площадок, удобных для размещения. В промышленно освоенных и сельскохозяйственных районах отчуждение территории под электростанции, учитывая потребность в площадях для хранения золоотвалов, уже сейчас стоит особенно остро. Территория, занимаемая электростанцией мощностью 4000 МВт, составляет 200—300 га, не считая площади, необходимой под хранение золы. Последняя в зависимости от зольности угля составляет 20—80 га на 1 год эксплуатации и при неиспользовании золы может уже через 10 лет после начала работы объекта достигнуть 2—8 км². Поэтому

следует считать положительным освоение промышленных методов использования золы для получения строительных материалов и материалов для покрытия дорог. В нечерноземной полосе зола некоторых видов топлив (например, сланцев Эстонии) может использоваться для раскисления почв.

Значительно большее влияние на использование территории и водных ресурсов оказывает строительство гидроэлектростанций. Их роль следует рассматривать в целом для всего комплекса водопользователей в народном хозяйстве. В последнее время строительство ГЭС и водохранилищ при них все в большей мере рассматривается как сооружение объектов комплексного назначения, где помимо энергетических проблем, а иногда и в большей степени, чем энергетические проблемы, решаются вопросы регулирования стока для ирригации, водного транспорта, водоснабжения, а на Дальнем Востоке также и для защиты от наводнений. С этой точки зрения гидроэнергостроительство в СССР выступает как важный фактор улучшения качества водных ресурсов.

Вместе с тем строительство ГЭС имеет и ряд неблагоприятных экологических последствий. В СССР средние удельные размеры водохранилищ на равнинных реках в расчете на единицу объема воды и на выработанную гидроэнергию больше, чем в США. Поэтому общая площадь затоплений и, следовательно, размеры изъятия земель из сельскохозяйственного оборота в нашей стране более значительны.

Острым является также вопрос о мелководных зонах водохранилищ, которые при максимальном уровне покрываются водой, а при сработке воды осушаются. Эти зоны у ряда водохранилищ весьма велики и достигают, например, для Волжской ГЭС имени В. И. Ленина до 170 тыс. га, т. е. занимают около 40% всей его площади. Использование мелководий затруднительно, так как годовой график хода уровней водохранилища подчинен интересам основных водопользователей — энергетике, ирригации и водному транспорту. Он, как правило, отличается от природного цикла: весеннего затопления и быстрого спада уровня воды с последующим бурным развитием растительности на удобренных илом заливных лугах и созданием благоприятных условий для нереста рыбы. В результате ра-

боты по энергетическому и ирригационному графикам происходит также развитие и последующее отмирание на мелководьях водорослей, загрязняющих все водохранилище и чрезвычайно неблагоприятно отражающихся на его кислородном режиме и, следовательно, биосфере. Положение можно исправить путем защиты мелководий — отсечением их от основного водохранилища с организацией системы откачки воды. Это, однако, резко удорожает гидроэнергостроительство. Особые вопросы встают также в связи с изменением уровня грунтовых вод, связанных с подтоплением территорий, окружающих водохранилище [Л. 101].

Крупные водохранилища с объемами 20—170 км³ водной массы имеют значительное влияние на микро- и мезоклимат окружающих территорий¹. Если для южных мелководных и безводных районов это влияние может быть весьма благотворным из-за увеличения влажности воздуха и улучшения условий сельскохозяйственного производства и рекреаций в прилегающей зоне; то влияние на климат крупных водохранилищ в северных и восточных районах еще недостаточно изучено. Это, в частности, явилось одной из причин отказа от строительства проектируемой ранее Нижнеобской ГЭС.

В связи с переходом к строительству ГЭС в восточных районах страны значение экологических проблем гидроэнергостроительства, однако, ослабляется. Это связано с уменьшением удельной (на 1 выработанный киловатт-час) площади водохранилищ и снижением хозяйственной ценности затопливаемых земель. В то же время введение экономической оценки земли как природного ресурса, о необходимости которой все настойчивее говорит экономическая наука, приведет к более рациональному подходу к проектированию водохранилищ.

При сооружении линий электропередачи охрана природной среды связана с использованием территории. Для этой цели применение подземных кабелей было бы хорошим решением, однако оно практически невыполнимо. Стоимость 1 км подземной линии в 8—12 раз

¹ Объем Рыбинского водохранилища составляет, например, 25 км³ Волжской ГЭС имени В. И. Ленина 58 км³, Усть-Илимской ГЭС 59 км³, Саяно-Шушенской ГЭС 31 км³, Красноярской ГЭС 73 км³, Братской ГЭС 169 км³ [Л. 121, с. 245—247].

выше, чем стоимость воздушной линии напряжением 110—120 кВ и значительно выше ЛЭП напряжением 330 кВ. Линии электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения должны быть по возможности сгруппированы так, чтобы составлять минимальное число трасс. Недостаточно пока изучены экологические последствия электромагнитных явлений, наблюдающихся в зоне действия линий электропередачи. Можно, в частности, упомянуть о помехах в линиях связи, возникающих под влиянием сильных электромагнитных полей ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения. Всесторонних и глубоких исследований заслуживает вопрос о влиянии электромагнитных полей в зоне ЛЭП сверхвысоких напряжений на биосферу.

Распределительные сети в городах целесообразно делать в кабельном исполнении. При совмещении с другими коммуникациями из-за высокой ценности городских территорий капиталовложения в подземную кабельную сеть, расположенную в новом жилом районе, превышают стоимость воздушных линий не более чем в 1,5 раза, а иногда могут оказаться и ниже ее.

В целом, рассматривая экологические проблемы развития топливно-энергетического комплекса и электроэнергетики, следует отметить, что усилия, направленные на развитие новой техники и устранение неблагоприятных экологических последствий, могут сделать вполне совместимыми удовлетворение растущих потребностей человечества в энергии и задачи охраны природной среды. При этом, однако, охрана природы становится фактором, существенно удорожающим топливно-энергетический комплекс и электроэнергетику. В СССР вследствие более низкой плотности энергопотребления большинство экологических проблем стоят значительно менее остро, чем в капиталистических странах. У нас есть возможность их заблаговременного планомерного решения.

Среди научно-исследовательских проблем и технических решений, которым должно быть уделено в энергетике особое внимание с точки зрения охраны природы, следует назвать в первую очередь:

повышение к. п. д. топливноиспользующих установок, снижение удельных расходов топлива на электростанциях с тем, чтобы уменьшить количество используемых первичных энергетических ресурсов; дальнейшую цен-

трализацию энергетического снабжения и в особенности, теплоснабжения; перестройку ряда промышленных технологий, использующих мазут, на газ или электроэнергию; вторичное использование отходов электростанций (серы, золы); промышленное использование методов прямого превращения энергии; электрификацию отопления и автомобильного транспорта на базе новых экономичных способов получения энергии.

Следует сказать, что проблема «энергетика и окружающая среда» подлежит анализу и с учетом более широких аспектов. Можно полностью согласиться с мнением академика М. А. Стыриковича, который говорит, что наряду со значительным усовершенствованием технологических методов, обеспечивающих уменьшение вредных воздействий человека на окружающую среду, с любой точки зрения целесообразно одновременно сильно расширить экологические, биологические и физиологические исследования, которые позволят правильно наладить всю систему оптимизации соотношения человек — природа [Л. 101].

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

7-1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Основой всякого процесса труда является затрата энергии. Поэтому повышение производительности труда и эффективности общественного производства в целом неизбежно связано с изменением энергетической базы народного хозяйства, т. е. в конечном счете с количеством и качеством энергии, потребляемой в различных процессах. Именно поэтому энергетика является одним из ведущих звеньев в системе общественного производства и важной составляющей материально-технической базы человечества. Вместе с тем энергетическое хозяйство развивалось и развивается в тесном взаимодействии с другими функциональными элементами общественного производства.

Общественно-экономические формации и стадии их развития		Время	Основные вехи технического и экономического развития. Этапы разделения труда
Первобытно-общинный строй	Зарождение	40—14 тыс. лет до н. э. (верхний палеолит)	Собирательство и охота
	Расцвет	9—4 тыс. лет до н. э. (мезолит и неолит)	Возникновение земледелия и животноводства. Зарождение гончарного дела
Рабовладение	Зарождение (древнейшие государства — Египет, Двуречье)	4—3 тыс. лет до н. э.	Развитие гончарного дела, изобретение колеса, паруса, деревянного плуга. Начало века металлов
	Расцвет (Египет, Финикия, Ассирия и др.)	2—1 тыс. лет до н. э.	
	Расцвет (Греция, Рим)	1 тыс. лет до н. э. — III—V вв. н. э.	Появление ремесла и пахотного земледелия
	Разложение		Начало дифференциации ремесел
Феодализм	Развитие феодальных отношений	V—X вв.	Дифференциация ремесел, совершенствование кузнечного дела, изобретение часов
	Расцвет	XI—конец XV в.	Дифференциация ремесел, отделение ремесла от сельского хозяйства, возникновение и развитие городов
	Начало разложения феодализма, зарождение капиталистических отношений	Конец XV — середина XVII вв.	Возникновение мануфактуры, разделение труда

Рассматривая историю их развития можно говорить о двойкой энергетической сущности технического прогресса. Развитие орудий труда и других функциональных элементов производства сопровождается все увеличивающимся количеством энергии, используемой в процессе производства. Это обстоятельство иногда находит отражение в увеличении расхода полезной энергии на единицу выпускаемой продукции или услуг. Ему противостоит рост энергетического к. п. д. производственных процессов и снижение расходов подведенной

Таблица 7-1

питалистических формаций

Орудия труда	Двигатели, обслуживающие силовые процессы, и их единичная мощность, кВт	Применение природной энергии в силовых процессах
Камеиные орудия	Человек — 0,05—0,08	Первое искусственное преобразование энергии — добыча и использование огня (для освещения, приготовления пищи и отопления)
Усовершенствованные камениые орудия, лук и стрелы	Человек — 0,05—0,08 Домашние животные — 0,2—0,4	То же, а также для гончарного дела
Появление медных орудий	Человек — 0,05—0,08	
Переход к орудиям из бронзы	Домашние животные — 0,2—0,4	
Железные орудия. Наиболее распространенные механизмы: рычаг, клин, ворот, блок	Человек — 0,05—0,08 Домашние животные — 0,2—0,4	То же, а также для выплавки металлов, нагрева металлов под ковку
То же, появление ветряных мельниц; применение домашних животных в сельском хозяйстве	Человек — 0,05—0,08 Домашние животные — 0,2—0,4	То же, усовершенствование методов плавки металлов
Появление ручной колесной прялки, зарождение сукновальных машин	Ветряная мельница — 3—4. Верхнебойное колесо — 1—2	То же, применение огня в домах, переплавка чугуна в сталь и железо
Распространение механизмов и появление примитивных машин в промышленности и горном деле, применение верхнебойного колеса в металлургии, горном деле и т. д.	Человек — 0,05—0,08 Домашние животные — 0,2—0,4 Ветряная мельница — 3—20 Верхнебойное колесо — до 150—200	

энергии. В процессе взаимного развития орудий труда и энергетической базы производства менялось взаимодействие и соотношение этих тенденций и их влияние на динамику роста производительности труда.

Развитие орудий труда и энергетической базы производства в докапиталистических формациях показано в табл. 7-1. Как видно, вплоть до расцвета мануфактурного производства основной энергетической базой оставался мускульный труд. Вместе с тем мануфактурное производство отличалось более широким распростране-

нием водяного колеса и совершенствованием ветряных двигателей. Увеличивается сложность орудий труда, все чаще происходит их расчленение на двигатель (рабочий скот, водяные и ветряные колеса) и рабочее орудие. Во многих производственных процессах выделяется передаточный механизм, а их энергетический к. п. д. стал зависеть не только от степени совершенства рабочих орудий, но и от потерь в передаточных устройствах. Уже на этом этапе начинается перемещение энергетических функций производства от человека к природным источникам энергии. Они начинают играть роль средств труда. Энергетические возможности человека обеспечивали только силовые производственные процессы. Использование природных источников неизмеримо расширило технологические рамки общественного производства и создало предпосылки для последующего перехода от мануфактуры к машинной индустрии.

Развитие простых ремесленных орудий труда привело к возникновению системы механических орудий, образовавших машину. Машина освободила работника от функции непосредственного воздействия на предмет труда. Она стала основой промышленной революции XVIII в., которая повлекла за собой становление нового капиталистического способа производства. Развитие машин привело к тому, что существовавшая энергетическая база стала тормозом развития материального производства. «Увеличение размеров рабочей машины, — писал К. Маркс, — и количества ее одновременно действующих орудий требует более крупного двигательного механизма, а этот механизм нуждается в более мощной двигательной силе, чем человеческая, чтобы преодолеть его собственное сопротивление... Поскольку предполагается, что человек действует уже только как простая двигательная сила и что, следовательно, место его орудия заступила машина-орудие, то силы природы могут заменить его и как двигательную силу»¹.

Однако природная энергия, характерная для докапиталистического производства, имела локальный и в значительной мере неконтролируемый характер. Развитие машинного производства требовало двигательной

¹ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, М., Госполитиздат, 1960, с. 387.

силы, свободной от этих ограничений. Такой силой стала энергия пара.

Если энергия ветра и воды преобразовывалась непосредственно в механическую энергию, то использование паровой энергии требовало уже промежуточного преобразования первичной энергии топлива. Оно, существенно понизив общий энергетический к. п. д. производственных процессов, тем не менее резко увеличило энерговооруженность за счет роста массы используемой природной энергии (следует напомнить, что к. п. д. паровой машины Ньюкомена составлял 0,3%, а машины Уатта 1%). На этой основе был осуществлен резкий рост производительности труда машинного производства.

Мощность первых универсальных паровых машин Уатта составляла 20 л. с., или 15 кВт, что в 8 раз превышало среднюю мощность верхнебойного водяного колеса, используемого в средние века. Вместе с тем паровая машина позволила расширить энергетическую базу производства за счет использования угольного топлива. Применение паровой машины явилось первым шагом в обеспечении независимости мест размещения производства от районов сосредоточения природных энергетических ресурсов.

Уже в период позднего средневековья благодаря усиливающемуся технологическому использованию топлива для плавки металлов, а также нужд отопления коренным образом изменилось соотношение между мускульной и природной энергией в мировом энергобалансе (табл. 7-2).

Таблица 7-2

Соотношение мускульной и природной энергии
в докапиталистический период¹

Наименование	Первобытно-общинный строй (до появления металла)	Рабовладельческий строй	Феодално-крепостнический строй (XVI в.)
Всего энергии	100	100	100
В том числе мускульная	100	70	10
Растительные отходы, дерево	—	30	90

¹ Робер Ж. Газ в завтрашнем мире. XI Международный газовый конгресс (EDSDYG), 1970. 33 с.

Появление парового двигателя и применение угля для металлургии (30-е—40-е годы XVIII в.) означало резкое ускорение процесса насыщения производства природной энергией. Если за период 1551—1560 гг. было добыто 210 тыс. т угля, а в 1681—1760 гг. — около 3 млн. т, то в XIX в. добыча угольного топлива возрастает исключительно быстро: в 1801—1820 гг. она составляла уже почти 14 млн. т в год, в 1841—1850 гг. — свыше 60 млн. т в год, а в период 1861—1870 гг. подходит к величине 200 млн. т в год. Вместе с тем расширение энергетической базы производства, промышленное освоение технологических высокотемпературных, а также средне- и низкотемпературных процессов стимулировали развитие металлургии, а также (с конца XVIII — начала XIX в.) появление и развитие химической промышленности (прежде всего содовой и сернокислотной) как самостоятельной отрасли индустрии. Это повлекло за собой дальнейшее совершенствование орудий труда и расширение номенклатуры предметов труда, используемых в производстве. Только с 1864 по 1913 г. мировая выплавка чугуна возросла в 11 раз — с 7 до 78 млн. т в год.

Таким образом, паровая энергетика стала материальной основой развития крупного машинного производства, созданного капитализмом. «Применение паровых двигателей к производству является одним из наиболее характерных признаков крупной машинной индустрии», — указывал В. И. Ленин¹. На основе машинной индустрии, создавшей условия для массового производства сложных паровых двигателей и передаточных устройств, совершенствовалась и сама энергетика, превратившаяся в самостоятельный функциональный элемент производства. Период капитализма характерен выделением топливдобывающей промышленности в крупную самостоятельную отрасль экономики, а в системе предприятий — потребителей энергии выделяются отдельные звенья, связанные с преобразованием топлива в паровую энергию.

Развитие капиталистической машинной индустрии к концу XIX в. привело к тому, что рост технического уровня орудий труда, концентрация и обобществление производства при все усиливающейся отраслевой и тех-

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 3, с. 506.

нологической дифференциации вновь вступили в противоречие с энергетической базой общественного производства. Невозможность концентрации производства и потребления пара, небольшой радиус его транспорта тормозили дальнейший рост мощности рабочих машин. Сравнительно малая регулируемость этого энергоносителя ограничивала развитие механизации, не позволяла повысить скорости производственных процессов, препятствовала их автоматизации. Ориентация на топливо и пар препятствовала широкому производственному освоению более сложных, чем механическая и тепловая, форм энергии. Сдерживалось развитие химических и химико-металлургических процессов, преобразующих вещественную структуру предметов труда. Несмотря на совершенствование паровой машины, энергетический к. п. д. силовых производственных процессов, в особенности потребительского аппарата промышленности, где использование пара было связано с большими потерями энергии в передаточных устройствах, был чрезвычайно низок и не превышал 1%. При этом коэффициент преобразования составлял 4—6%, а к. п. д. потребительского аппарата 5—10%.

Принципиально новым энергоносителем, отвечающим требованиям дальнейшего развития общественного производства, стала электроэнергия. Она быстро завоевала ведущее место в мировом энергетическом хозяйстве, обеспечив широкие возможности решения назревших проблем технического прогресса. Можно выделить несколько направлений, по которым осуществлялось возрастающее воздействие электроэнергии на производительные силы и социальное развитие человечества.

В начале XX в. в развитых странах электроэнергия становится доминирующим энергоносителем для освещения. Улучшение освещения позволило не менее чем в 1,5 раза увеличить фонд активного времени человеческой деятельности, создало предпосылки для существенного роста времени использования производственных фондов, расширения возможности повышения общеобразовательного и культурного уровня людей. К концу первой трети XX в. в основном завершилось вытеснение электроэнергией силового привода в промышленности. Уже в 1928 г. в СССР коэффициент электрификации силового аппарата в промышленности достиг 65%. Это сыграло решающую роль в совершен-

ствовании орудий труда, обеспечило новый скачок в повышении единичной мощности оборудования и его быстродействия, создало условия для организации высокоэффективного поточного производства.

Электрификация силовых процессов в СССР и за рубежом прошла несколько этапов. На первом этапе была решена задача ликвидации группового привода рабочих машин за счет электрического одиночного привода. Еще в 1932 г. в машиностроении СССР 60% станков имели групповой привод. Но уже к середине второй пятилетки этот привод был практически вытеснен; внешнее распределение механической энергии было заменено распределением электроэнергии, а коэффициент электрификации силового аппарата превысил 85%. Электрификация привода позволила резко увеличить к. п. д. потребительской аппаратуры. Так, например, на одном из заводов этот к. п. д. менялся следующим образом (табл. 7-3).

Переход к одиночному приводу позволил заметно сократить единичную мощность электромоторов, в частности за счет существенного увеличения их к. п. д. В электротехнической промышленности США, например, этот процесс характеризовался данными, приведенными в табл. 7-4.

Однако этот тип привода не мог решить задачи распределения энергии внутри ряда важнейших производ-

Таблица 7-3

Показатели использования энергии при различных типах привода, % к подведенной энергии¹

Наименование	Полезное потребление энергии	Потери		
		в механических моторах и передаче	в электромоторах	в электросетях
Групповой привод для 32 станков при моторе в 37 кВт	26,0	56,0	11,6	6,4
То же, для 20 токарных станков при моторе 18 кВт	36,1	41,4	16,5	6,0
То же, для сверлильных станков при моторе 5,5 кВт	40,0	20,0	35,0	5,0
Одиночный привод для тех же производств	62,0	10,5	21,0	6,5

¹ Кузнецов Б. Г. История энергетической техники. М.—Л., ОНТИ, 1937, с. 206.

Таблица 7-4

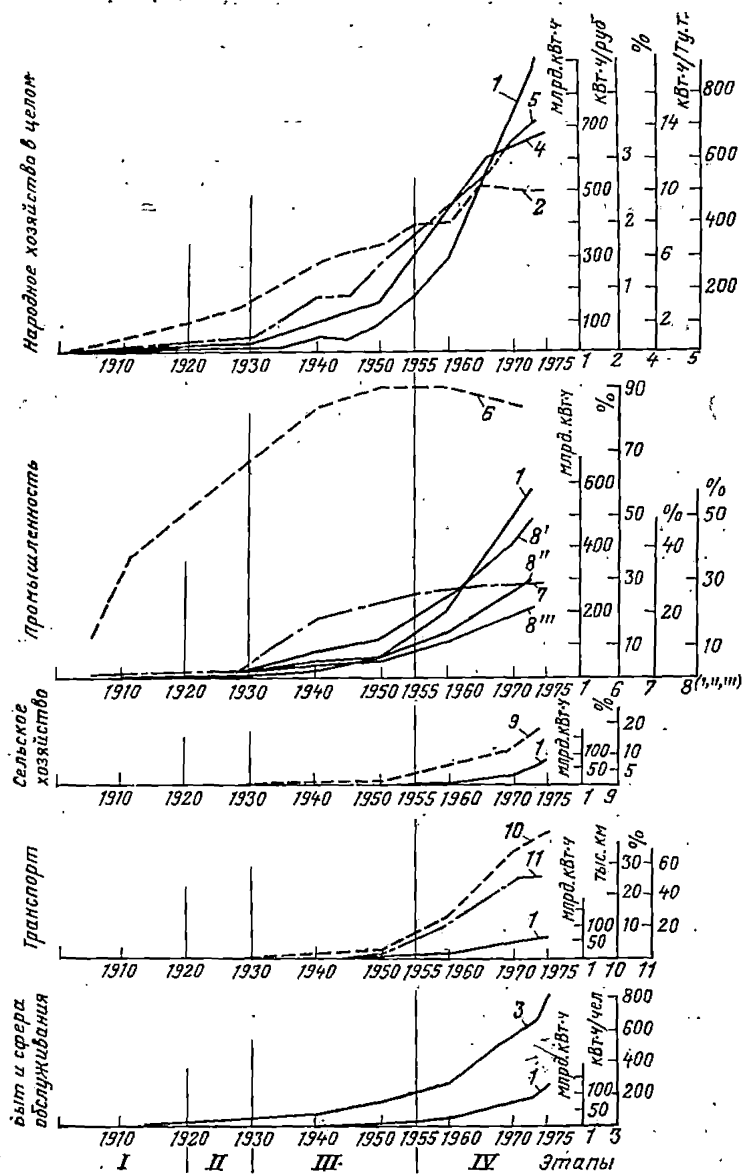
**Мощность электромоторов в электротехнической
промышленности США в период 1899—1927 гг.**
[Л. 48, с. 207]

Моторы	1899 г.	1909 г.	1919 г.	1927 г.
Общее число, тыс. шт.	1,6	22,6	80,5	142,0
Общая мощность, тыс. кВт	17,7	121	345	520
Средняя мощность одного мотора, кВт	11,0	5,4	4,3	3,6
То же, %	100	50	40	33

ственных машин. Сохранилась сложная кинематика, сдерживающая рост производственных мощностей рабочих машин. Поэтому следующим этапом стало развитие многодвигательного привода, при котором каждое движение механизма осуществлялось отдельным двигателем.

Это позволило упростить механические связи между элементами машин, резко повысить производительность и к. п. д. оборудования. Создались предпосылки для перехода к массовому автоматизированному производству. После второй мировой войны во многих развитых странах область применения электропривода резко расширилась за счет стационарных процессов сельскохозяйственного производства, а также (особенно в СССР) за счет железнодорожного транспорта. Параллельно развивалось применение электроэнергии для привода бытовых машин и приборов хозяйственного и культурного назначения, что в условиях социализма имеет особенно большое значение. Это способствовало облегчению домашнего труда, сокращению времени на самообслуживание населения, росту культурного уровня советского народа. По нашим подсчетам внедрение электробытовых приборов уже обеспечило сокращение труда в домашнем хозяйстве в размере 20 млрд. чел.-ч в год или в среднем 300 чел.-ч в год на семью.

В 20-е годы началось, а в настоящее время получило широкое развитие технологическое применение электроэнергии. Возникновение специализированных электротермических и электролитических процессов, где электроэнергия выполняет непосредственные функции орудий труда, обеспечило коренные сдвиги в структуре



производства конструкционных материалов. На базе электротехнологии было создано массовое производство таких материалов, как алюминий, магний, ферросплавы, электросталь и ряд других продуктов в металлургии и химии. Например, еще в начале XX в. мировое производство алюминия составляло 60 тыс. т в год, к 1973 г. оно увеличилось до 10 млн. т (без СССР и социалистических стран).

В последние годы область применения электроэнергии начала расширяться особенно интенсивно. Появилась целая группа принципиально новых высокопроизводительных технологических процессов, основанных на использовании различных форм электрической энергии — электроэрозионных, электрохимических, ультразвуковых и электролучевых. Развитие автоматизации явилось результатом применения электричества в электронных устройствах. Электрификация сегодня стала интенсивно вторгаться в сферу управления производством. Началось и при определенных условиях может получить распространение применение электроэнергии в низкотемпературных процессах.

Главная тенденция развития электрификации, являющаяся результатом усиления ее социально-экономического значения в современном мире, состоит в завоевании электроэнергией все новых энергетических процессов современного производства. Это показано на рис. 7-1, где даны основные этапы развития электрификации в СССР.

Рис. 7-1. Этапы развития электрификации СССР.

1 — потребление электроэнергии; 2 — электроемкость национального дохода; 3 — потребление электроэнергии на душу населения в городах; 4 — коэффициент электрификации народного хозяйства; 5 — электротопливный коэффициент; 6 — коэффициент электрификации силового аппарата в промышленности; 7 — доля технологического потребления электроэнергии во всем промышленном электропотреблении; 8 — индекс роста по сравнению с 1928 г. электровооруженности труда (8'), энерговооруженности труда (8''), производительности труда (8'''); 9 — доля электромощностей во всех энергомощностях сельскохозяйственного производства; 10 — полигон электрифицированных железных дорог; 11 — доля железнодорожных грузов, перевозимых с помощью электричества. Этапы электрификации: I — начало применения электроэнергии для освещения и двигательных процессов промышленности и транспорта; II — полная электрификация освещения в промышленности, расширение применения электроэнергии для освещения в других отраслях хозяйства, преобладание электропривода в промышленности и начало технологического применения электроэнергии; III — завершение электрификации стационарных силовых процессов в промышленности, развитие электротермии и электролиза, начало массового применения электроэнергии на транспорте, в сельском хозяйстве, появление большой группы электробытовых приборов; IV — дальнейшее развитие электротехнологии, в том числе начало использования электроэнергии в специальных целях, широкая электрификация силовых процессов сельского хозяйства и транспорта, внедрение электробытовых приборов, начало применения электроэнергии в низкотемпературных процессах.

ния — световой поток ламп; силовых процессов — работа на валу приводного двигателя; термических и химических процессов — расход энергии в соответствии с теоретическими расчетами; отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения и холодо-снабжения — количество тепла (холода), используемое потребителем. Понятие полезной энергии, как будет показано дальше, является весьма условным. Количество подведенной энергии, используемой в виде конечных энергоносителей на входе потребительских аппаратов, определяется их энергетическим к. п. д. Источником получения конечных энергоносителей являются установки по преобразованию энергии (электрические станции и котельные) и переработке и облагораживанию топлива (обогащительные фабрики, коксохимические заводы, нефтеперерабатывающие заводы), получающие природные энергетические ресурсы в виде топлива и энергии падения воды. Все эти установки имеют свой энергетический к. п. д., который вместе с к. п. д. потребительского аппарата определяет в основном общий коэффициент полезного использования (к. п. и.) природных энергетических ресурсов. Кроме того, на значение к. п. и. природных ресурсов влияют потери при их добыче, а также потери энергии при транспорте и распределении энергоносителей.

Таким образом, к. п. и. энергетических ресурсов η может быть представлен следующим выражением:

$$\eta = \eta_{п.а} \eta_o \eta_{п} \eta_{тр} \eta_{д}, \quad (7-1)$$

где $\eta_{п.а}$ — к. п. д. потребительского аппарата, а η_o , $\eta_{п}$, $\eta_{тр}$, $\eta_{д}$ — соответственно к. п. д. установок по облагораживанию (переработке), преобразованию, транспорту (распределению) и добыче топлива и энергии. Установление значений к. п. д. отдельных стадий движения топлива и энергии в народном хозяйстве страны выполняется на основе укрупненных расчетов с учетом структуры и технического уровня технологических и энергетических установок. Это необходимо иметь в виду при дальнейшем рассмотрении закономерностей развития электрификации.

Таблица 7-5

Полное и полезное потребление энергетических ресурсов¹

Показатели	Годы					
	До 1917	1930	1950	1960	1965	1971
Потребление энергетических ресурсов, млн. т условного топлива	94	170	400	678	898	1178
То же, млн. Гкал	660	1200	2790	4740	6280	8230
К. п. и. ресурсов, %	23,5	25,4	27,8	30,9	34,6	37,6
Полезная энергия, млн. Гкал	155	305	775	1460	2170	3109

¹ Для составления табл. 7-5, 7-7, 7-8, 7-9 и приложения 4 использованы следующие источники: "Электрификация СССР", "Энергия", М., 1970, с. 543 (с. 538—543); Савенко Ю. Н., Штейнгауз Е. О. "Энергетический баланс" М., "Энергия", 1971, с. 168. Необходимо отметить, что статистические данные, касающиеся потребления тепловой энергии и топлива прямого использования, особенно за период до 1960 г., крайне отрывочны и неполны; ряд показателей приведенных таблиц является поэтому результатом интерполяции и экспертных оценок.

Важнейшей закономерностью развития энергетики является неуклонное повышение к. п. и. энергетических ресурсов. Для СССР этот процесс можно проиллюстрировать данными табл. 7-5. Основными направлениями рационализации использования энергетических ресурсов за период 1917—1971 гг. были повышение к. п. д. потребительских аппаратов и рост к. п. д. преобразования топлива в электрическую и тепловую энергию. При этом в электрифицированных процессах рост к. п. д. потребительских аппаратов обеспечил примерно вдвое меньшую экономию топлива, нежели увеличение к. п. д. генерирования электроэнергии. Для процессов, использующих пар и горячую воду, эффект от повышения к. п. д. генерирующих установок и к. п. д. потребительских аппаратов примерно одинаков (см. приложение 4). Это также можно видеть из табл. 7-6, где для 1971 г. показаны условные расходы первичных энергетических ресурсов, соответствующие к. п. д. потребительских установок и преобразований, характерных для начала и конца рассматриваемого периода.

Таблица 7-6

Условный расход энергетических ресурсов для структуры и объема потребления полезной энергии 1971 г., млн. Гкал

Годы, для которых рассчитывались к. п. д.		Расход энергетических ресурсов ¹			
потребительских установок (по процессам)	преобразования	электрифицированных	с использованием пара и горячей воды	с использованием топлива	Всего
1971	1971	1655	1840	4440	7935
1917	1971	3600	3100	34 100	40 800
1971	1917	6300	3200	4440	13 940
1917	1917	13 700	6200	34 100	54 000

¹ Не учтены потери при транспорте и переработке топлива.

Для энергетического хозяйства СССР, как и во всем мире; характерен рост доли энергоносителей, используемых в преобразованном виде. Если до 1917 г. на электроэнергию, пар и горячую воду приходилась только 1/20 часть всех энергоносителей, то уже к 1930 г. доля преобразованных энергоносителей в общем потреблении энергии превысила 10%, в 1950 г. она составила около 23%, а к 1971 г. — уже 52% всей полезной энергии.

Коэффициент электрификации и доля других энергоносителей за период 1917—1971 гг. показаны в табл. 7-7.

Внедрение в народное хозяйство все более прогрессивных энергоносителей вначале действует в сторону снижения к. п. и. энергетических ресурсов за счет несовершенства как методов преобразования, так и методов использования энергоносителей. В дальнейшем происходит резкий рост к. п. д. преобразования и к. п. д. потребительских установок, использующих более прогрессивные энергоносители. Так, в период 1917—1971 гг. особенно резко увеличивался к. п. и. энергетических ресурсов, где они были утилизированы в виде пара, горячей воды и электроэнергии (см. приложение 4). Примерно до 1930 г. рост доли пара и горячей воды в полезно используемой энергии тормозил общее увеличение к. п. и. энергетических ресурсов страны. Однако в дальнейшем к. п. и. энергетических ресурсов, преобразованных в пар и горячую воду, обогнал средневзвешенный коэффициент полезного использования, а увеличение доли энергии, потребляемой в виде тепла, полученного от ТЭЦ и котельных, все в большей мере повышало общий по стране к. п. и. энергетических ресурсов. Несмотря на значительный рост к. п. и. топли-

Таблица 7-7

Коэффициент электрификации и доля других энергоносителей в общей структуре полезного потребления энергии

Показатели	Годы					
	До 1917	1930	1950	1960	1965	1971
Полезная энергия (всего), млн. Гкал	155	305	775	1460	2170	3109
Коэффициент электрификации по полезной энергии, %	0,17	0,74	3,2	7,8	11,1	13,0
Полезная энергия в электроэнергии, млн. Гкал	Менее 0,3	Свыше 2	Около 25	114	240	403
Доля пара и горячей воды в полезной энергии, %	5,2	9,5	20,0	30,2	36,7	39,0
Полезная энергия в паре и горячей воде, млн. Гкал	8	29	155	440	795	1210
Доля топлива прямого использования в полезной энергии, %	94,6	89,7	76,8	62,0	52,2	48,0
Полезная энергия в топливе прямого использования, млн. Гкал	Около 147	274	595	906	1135	1496

ва в электрифицированных процессах, повышение уровня электрификации народного хозяйства пока снижает общий к. п. и. энергетических ресурсов, хотя и в меньшей мере, чем это имело место до 1950 г.

Опережающий рост энергии, используемой в более качественном, преобразованном виде, неразрывно связан с ростом производственного и технологического использования энергии и изменением структуры потребления энергии по отдельным процессам (табл. 7-8 и 7-9). Современное состояние информации о структуре

Таблица 7-8

Структура полезной энергии по процессам, %

Процессы	Годы					
	До 1917	1930	1950	1960	1965	1971
Осветительные	0,1	0,1	0,1	до 0,2	до 0,2	до 0,2
Силовые	2,3	4,4	10,4	21,8	23,7	22,9
Высокотемпературные и другие	9,5	9,1	18,1	20,7	22,0	21,9
Средне- и низкотемпературные	88,1	86,4	71,4	57,3	54,1	55,0
Итого	100	100	100	100	100	100

технологий не позволяет достаточно детально показать этот процесс, однако уже появившиеся в печати оценки¹ и наши расчеты дают возможность определить главные тенденции.

Во-первых, это увеличение доли производственного использования энергии, т. е. энергии, расходуемой непосредственно на осуществление производственных процессов (табл. 7-10). Оно в значительной мере происходит за счет электротехнологических и электросиловых процессов, удельный вес которых в общем потреблении энергии и в потреблении энергии на производственные цели быстро возрастает.

Во-вторых, имеет место увеличение доли собственно технологического использования электроэнергии в ее общем производственном использовании. Если в дореволюционный период практически вся производствен-

¹ Оценка д-ра экономических наук Е. О. Штейнгауза, оценка авторов книги «Электрификация СССР» (М., «Энергия», 1970, с. 539—540) и другие оценки.

Структура полезной энергии по процессам и энергоносителям

Процессы и энергоносители	Годы											
	до 1917		1930		1950		1960		1965		1971	
	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%
Освещение (всего)	0,1	100	0,2	100	0,6	100	2,0	100	3,2	100	3,9	100
В том числе:												
электроэнергия	0,01	10	0,05	25	0,5	83	2,0	98	3,2	100	3,9	100
топливо прямого использования	0,09	90	0,15	75	0,1	17	около 0	2	—	—	—	—
Силовые (всего)	3,5	100	13,4	100	81,0	100	296,0	100	469,8	100	712,8	100
В том числе:												
электроэнергия	0,2	7	1,9	14	20	24,7	90,0	30	186,0	39,6	295,0	41,4
пар	0,8	36	1,5	11	5,0	6,2	7,5	7,5	7,5	1,6	8,8	1,2
топливо прямого использования	2,5	55	10,0	75	56,0	69,1	198,5	67,5	276,3	59,8	409,0	57,4
Технологические высокотемпературные и другие (всего)	14,7	100	27,8	100	140,0	100	280,0	100	436,0	100	680,9	100
В том числе:												
электроэнергия	—	—	0,3	1	4,2	3	20,0	7	45,0	10	88,9	13
топливо прямого использования	14,7	100	27,5	99	135,8	97	260,0	93	391,0	90	592,0	87
Средне- и низкотемпературные (всего)	136,7	100	263,6	100	554,1	100	884,5	100	1263	100	1711,4	100
В том числе:												
электроэнергия	—	—	—	—	—	—	2,0	0,2	6,0	0,5	15,0	0,9
пар и горячая вода	7,2	5,3	27,5	10,5	150,0	27	432,5	48,8	787,5	62,5	1201,2	70,2
топливо прямого использования	129,5	94,7	236,1	89,5	404,1	73	450	51	342,5	37,5	495,2	28,9

ная электроэнергия расходовалась на силовые нужды, то уже в середине первой пятилетки около 7%, электроэнергии (по полезному расходу) шло на чисто технологические нужды. К 1960 г. доля расхода на технологические нужды в производственном потреблении электроэнергии составила уже 30%. При этом увеличилась доля электронагрева и электролиза.

В отдельных отраслях промышленного производства расход электроэнергии на термические и электролитические процессы достиг значительных величин, %, [Л. 124]:

	Весь расход электро- энергии	В том числе электротермия и электролиза	Из них электро- термия	Из них электролиз
Цветная металлургия . .	100	59,3	11,3	48,0
Черная металлургия . .	100	21,9	21,9	—
Химическая промышлен- ность	100	24,5	10,6	13,9
Электротехническая про- мышленность	100	37,7	36,4	1,3
Сельскохозяйственное ма- шиностроение	100	42,0	42,0	—
Станкостроение	100	50,9	50,9	—

Однако в последние годы процесс увеличения доли электроэнергии в общем технологическом потреблении энергии замедлился. Это определилось, во-первых, быстрым развитием автомобильного транспорта в СССР, что вызвало значительный рост потребности в топливе прямого использования, во-вторых, опережающим развитием промышленности органического синтеза, что повлекло за собой резкое увеличение потребления тепловой энергии в виде пара и горячей воды.

Рассмотрим влияние изменения структуры энергетических процессов в народном хозяйстве на структуру энергоносителей и общий к. п. и. топлива и энергии. Для этого воспользуемся данными табл. 7-11, где произведен пересчет фактического полезного потребления энергии в 1971 г. по структуре процессов до 1917 г. При этом условно доля отдельных энергоносителей в каждой из групп процессов принята в соответствии с данными табл. 7-9. Сохранены по уровню 1971 г. к. п. д. потребительских аппаратов для каждого энергоносителя и каждой группы процессов, а также к. п. д. всех других стадий движения топлива и энергии в народном хозяйстве.

Таблица 7-10

**Динамика производственного потребления полезной энергии
в народном хозяйстве СССР**

Показатели	Годы							
	До 1917		1930		1950		1971	
	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%	млн. Гкал	%
Полезное потребление энергии (всего)	155	100	305	100	775	100	3109	100
В том числе электроэнергия	Менее 0,3		Свыше 2,0		24,7		403	
Коэффициент электрификации, %	0,17		0,74		3,2		13,0	
Производственное потребление энергии (включая транспорт, быт и сферу обслуживания)	30	19	90	30	330	42	1623	52
В том числе электроэнергия	0,25		2,2		24,2		387	
Коэффициент электрификации, %	0,8		2,5		7,3		22,8	
Энергия на вспомогательные нужды	125	81	215	70	445	58	1486	48
В том числе электроэнергия	0,01		0,05		0,5		16	
Коэффициент электрификации, %	—		—		0,1		1,1	

Из табл. 7-11 следует, во-первых, что развитие электрификации неразрывно связано с изменением структуры потребления энергии по группам процессов. При до-революционной структуре энергетических процессов потребность в электроэнергии была бы в 4 раза меньше фактической, а суммарный коэффициент электрификации составил бы только 3%.

Во-вторых, видно, что прогрессивное изменение структуры энергетических процессов несколько повышает средневзвешенный к. п. д. электрифицированных потребительских аппаратов и, следовательно, к. п. и. той части энергетических ресурсов, которая потребляется в виде электроэнергии.

В-третьих, происшедшие изменения структуры потребления энергии по группам процессов увеличивали потребность в топливе прямого использования как в по-

Таблица 7-11

Показатели структуры энергоносителей и использования энергии при различной структуре энергетических процессов для уровня 1971 г.¹

Показатели	Фактические	Условные расчетные для структуры процессов на уровне до 1917 г.	Изменения по сравнению с фактической величиной, %
Энергия (всего), млн. Гкал:			
полезная	3109	3109	100
подведенная	6488	4745	73
общий расход энергетических ресурсов	8230	5868	71
к. п. д. потребительских аппаратов, %	48,0	65	137
к. п. и. энергетических ресурсов, %	37,6	53	141
Электроэнергия, млн. Гкал:			
полезная	402,8	94	23
подведенная	628	155	25
общий расход энергетических ресурсов на выработку электроэнергии	1690	408	25
выработка электроэнергии, млрд. кВт·ч	800,4	196	25
к. п. д. потребительских аппаратов, %	65	61	94
к. п. и. энергетических ресурсов, %	23,8	23	97
Пар и горячая вода, млн. Гкал:			
полезная энергия	1210	-1926	159
подведенная энергия	1400	2120	151
общий расход энергетических ресурсов на получение пара и горячей воды	1900	2870	151
к. п. д. потребительских аппаратов, %	86	91	106
к. п. и. энергетических ресурсов, %	63,7	65	102
Топливо прямого использования, млн. Гкал:			
полезное	1496,2	1089	73
подведенное	4440	2470	56
общий расход топлива прямого использования	4640	2590	56
к. п. д. потребительских аппаратов, %	33,8	44	134
к. п. и. энергетических ресурсов, %	32	42	131

¹ С учетом потерь на транспорт топлива и энергии, но без потерь при переработке (облагораживании) топлива (см. приложение 4).

лезной, так и в подведенной энергии. Это в значительной мере связано с опережающим развитием мобильной энергетики, прежде всего автотранспорта. В то же время, развитие мобильной энергетики понижало средний к. п. д. потребительских аппаратов и к. п. и. топлива прямого использования.

В-четвертых, изменения в структуре потребления энергии резко уменьшают потребность народного хозяйства в паре и горячей воде, являющихся основными энергоносителями для средне- и низкотемпературных процессов. Это обстоятельство вместе с опережающим развитием электрификации и мобильной энергетики также оказывало понижающее влияние на средневзвешенный к. п. и. энергетических ресурсов.

Анализ динамики к. п. д. потребительских аппаратов и к. п. и. энергетических ресурсов позволяет сравнить также тенденции электро- и энергоемкости национального дохода по полезной и всей потребляемой в народном хозяйстве энергии (табл. 7-12). Это сравнение

Таблица 7-12

Энергоемкость национального дохода по полезной и подведенной энергии

Показатели	До 1917 г.	1930 г.	1950 г.	1971 г.	Изменение, %			
					До 1917 г.	1930 г.	1950 г.	1971 г.
Национальный доход в сопоставимых ценах, млрд. руб.	6,5	13	54,5	289				
Энергоемкость, Гкал/1000 руб.:								
по подведенной энергии, общая (с учетом расхода топлива на преобразование)	92,36	80,11	42,05	22,4	100	87	45	24
в том числе:								
электроемкость	0,26	0,81	1,35	2,17	100	310	520	840
теплоемкость	3,1	4,0	4,2	4,83	100	129	136	156
топливоекмость	89	75,3	36,5	15,4	100	84	41	17
по полезной энергии, общая	23,8	23,5	14,2	10,76	100	99	60	45
в том числе:								
электроемкость	0,04	0,17	0,45	1,39	100	425	1130	3470
теплоемкость	1,23	2,22	2,85	4,19	100	180	230	340
топливоекмость	22,53	21,1	10,9	4,18	100	94	49	23

показывает, что теплоемкость по полезному расходу и особенно электроемкость национального дохода имеют тенденцию к повышению, выраженную значительно более резко, чем при исчислении энергоемкости по подведенной энергии. Вместе с тем происшедшие за рассматриваемое время глубокие изменения в отраслевой и технологической структуре общественного производства и, в частности, внедрение новых высокопроизводительных технологий, изменение соотношений между потреблением энергии в материальном производстве и сфере услуг привели к тому, что энергоемкость национального дохода по полезной энергии заметно сократилась за счет резкого снижения его топливеемкости. Приведенные данные показывают, что нельзя говорить о стабильном значении затрат полезной энергии на единицу произведенного национального дохода.

7.2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ КАК ЭНЕРГОНОСИТЕЛЬ

Причины опережающего роста потребления электроэнергии заключаются прежде всего в ее особых свойствах, которые обусловили выдающуюся роль электрификации в процессе формирования новых прогрессивных технологических структур общественного производства материальных благ и услуг.

Под технологической структурой общественного производства мы понимаем здесь соотношения различных производственных технологий, каждая из которых представляет собой совокупность орудий и предметов труда. Отсюда вытекают особенности производственного процесса и их энергетические характеристики.

Особые свойства электроэнергии как энергоносителя заключаются в следующем.

Способность к преобразованию в другие виды энергии, универсальность электроэнергии. Эта способность может быть проиллюстрирована данными табл. 7-13. В ней сделана попытка показать возможность преобразований основных энергоносителей (электроэнергии, топлива прямого использования, пара и горячей воды) в виды энергии (механическую, тепловую, химическую и т. д.) и возможность получения энергоносителей путем обратных преобразований. В таблице преобразования разделены на полностью освоенные современной техникой (так называемые «полные» преобразования) и ограниченные на современном техническом уровне.

Возможные преобразования основных видов энергоносителей

Виды энергии	Вид преобразования	Основные виды энергоносителей				Примечания
		электроэнергия	топливо прямого использования	пар	тепло	
Механическая	В стационарных процессах (включая звуковую)	+		T		
	Обратный	+				
	Прямой	T	+	T ¹		¹ Паровые автомобили, паровозы
	Обратный	T				
Тепловая	Среднего и низкого потенциала	+	+	+	+	
	Обратный					
	Прямой	+	+			¹ В промышленных печах ограничение по температуре
	Обратный					

Виды энергии	Вид преобразования	Основные виды энергоносителей				Примечания
		электроэнергия	топливо прямо- го использо- вания	пар	тепло	
Химическая	Прямой	+	+	T		
	Обратный	T ¹	+ ²	T ³	T ³	¹ Аккумуляторы, а в бу- душем топливные эле- менты ² Получение водорода ³ Экзотермические реакции
Электромагнитная, в том числе в слаботор- ных устройствах	Прямой	+				
	Обратный					
	Прямой	+	T			
	Обратный	T ¹	+ ²			¹ Космические аппара- ты ² Природный процесс фотосинтеза
Ядерная	Прямой	+ ¹				¹ Обогащение урана
	Обратный	+		+		

Виды энергии		Вид преобразования	Основные виды энергоносителей					Примечания
			электроэнергия	топливо прямого использования	тепло			
					пар	горячая вода		
Ядерная	Синтез легких ядер	Прямой						
		Обратный	+					
Число преобразований		Прямой	7 полных, 1 ограниченное	3 полных, 2 ограниченных	1 полное, 3 ограниченных	1 полное		
		Обратный	3 полных, 3 ограниченных	1 полное	1 полное, 1 ограниченное	1 ограниченное		
		Всего	10+4	4+2	2+4	1+1		
			$10+0,5 \times 4=12$	$4+0,5 \times 2=5$	$2+0,5 \times 4=4$	$1+0,5 \times 1=1,5$		
Коэффициент, отражающий число и полноту преобразований								

Условные обозначения: + — полное преобразование; Т — преобразование, ограниченное на современном техническом уровне.

Разумеется, различные преобразования, например электроэнергии в механическую энергию или топлива прямого использования в световую энергию (при газовом освещении), далеко не равнозначны для народного хозяйства. Однако для первого приближения можно попытаться по общему числу возможных прямых и обратных преобразований каждого из энергоносителей дать условную сравнительную оценку их качеств. При вычислении такой оценки число ограниченных прямых и обратных преобразований учитывалось с условным коэффициентом 0,5. В этом случае коэффициент преобразования для электроэнергии равен 12; для топлива прямого использования, пара и горячей воды он соответственно равен 5, 4 и 1,5.

Число прямых преобразований свидетельствует о большом числе видов энергии, в которые может непосредственно преобразовываться электроэнергия, т. е. характеризует ее способность к замене других энергоносителей. Число обратных преобразований показывает масштабы ресурсов энергии, на базе которой может быть получена электроэнергия. Очевидно, что электроэнергия — единственный энергоноситель, возможности получения которого практически безграничны в самой длительной перспективе. Это будет обеспечено при использовании неисчерпаемых запасов энергии синтеза легких ядер и солнечной энергии.

Способность к передаче на большие расстояния и концентрации. Эти свойства электроэнергии определили, во-первых, ее роль как важнейшего фактора увеличения мощности орудий труда. В свою очередь этот фактор явился условием концентрации производства, обобществления труда и повышения тем самым эффективности общественного производства в целом. Рост мощности отдельных типов промышленных агрегатов приведен в табл. 7-14.

Во-вторых, возможность концентрации больших количеств электроэнергии в относительно малом пространстве и способность к преобразованию в другие виды энергии определили создание принципиально новых электрофизических и электрохимических технологий. Эти свойства электроэнергии обеспечивают новые возможности производственного освоения все более сложных форм движения материи, в том числе химической. На этой основе совершаются принципиальные сдвиги

Таблица 7-14

Рост единичных показателей промышленного оборудования

Вид агрегатов	Период, годы			
	Начало XX в.	1920—1930	1950	1970—1975
Доменные печи, м ³	550	1033	1513	2700—5000
Прокатные и обжимные станы, тыс. т/год	400	1000	2000	5000
Цементные печи, т/сутки	50	170	575	2700—3000
Агрегаты по получению серной кислоты, т/сутки	12	24	240	1000
Бумагоделательные машины, м ² /мин	312	1960	3826	8000—10 000
Агрегаты синтеза аммиака, т/сутки	20	30	70	400—450

в изменении структуры предметов труда, разрабатываются прогрессивные методы и создаются новые материалы с заранее заданными свойствами.

Способность к безграничному делению, удобство управления. Эти свойства электроэнергии являются основой автоматизации производства, в том числе на базе применения микроэлектрод потенциалов в контрольно-управляющих аппаратах и устройствах. С другой стороны, они обеспечили широкое внедрение разнообразной бытовой электротехники, отличающейся малыми единичными мощностями приборов и приспособленной для эксплуатации миллионами рядовых потребителей, не имеющих специальной квалификации.

Гигиеничность электроэнергии приобретает сегодня особое значение для решения социальных и прежде всего экологических задач советского государства. Влияние этого свойства будет более детально рассмотрено в гл. 8.

Представляется желательным дать количественную оценку технологическим свойствам электроэнергии. Однако сегодня для такой оценки не существует объективных критериев и они нуждаются в специальной разработке. Возможно, в качестве первого шага здесь могут быть использованы результаты анализа соотношений между энерговооруженностью $\mathcal{E}_T$ и производительностью P_T труда. Если представить $P_T = f(\mathcal{E}_T)$, а $\mathcal{E}_T$ как сумму электровооруженности труда $\mathcal{E}_{э.т.}$, вооруженности труда топливом прямого использования $\mathcal{E}_{т.т.}$ и вооруженности

труда энергией в виде пара $\mathcal{E}_{п.т}$ и горячей воды $\mathcal{E}_{в.т}$, то, следовательно:

$$P_t = f(\mathcal{E}_{в.т} + \mathcal{E}_{т.т} + \mathcal{E}_{п.т} + \mathcal{E}_{в.т}). \quad (7-2)$$

При этом $\mathcal{E}_{в.т}$, $\mathcal{E}_{т.т}$, $\mathcal{E}_{п.т}$, $\mathcal{E}_{в.т}$ выступают прежде всего как показатели технической вооруженности труда, которая и является в конечном счете рычагом повышения P_t .

Величины энерговооруженности в свою очередь можно представить себе в виде количества энергии Q , приходящегося на одного трудящегося, и коэффициентов x , y , z , p , отражающих сравнительное качество энергоносителей. Тогда зависимость между производительностью и энерговооруженностью труда будет иметь вид:

$$P_t = xQ_v + yQ_t + zQ_{п} + pQ_v + a, \quad (7-3)$$

где a — свободный член, отражающий действие других факторов на значение P_t .

Имея данные по различным группам процессов, где производительность труда зависит от структуры взаимозаменяемых энергоносителей, можно попытаться получить значения коэффициентов x , y , z и p . Не исключено, что значения этих коэффициентов, по-видимому, имманентные соответствующим видам энергии, смогут помочь при прогнозировании масштабов использования различных энергоносителей для заданных величин P_t .

Другой путь сравнения технологической ценности различных энергоносителей может быть основан на балльных оценках. Однако такие оценки требуют предварительного глубокого исследования, которое до настоящего времени не проводилось. Ниже для этой цели использованы материалы коллективных экспертных оценок, организованных в институте «Энергосеть-проект». Они весьма условны и потому могут служить только иллюстрацией высказанных положений.

Прежде всего группой выбранных экспертов была дана оценка значимости каждого из технологических свойств энергоносителей на 10-балльном интервале. В результате получены следующие обобщенные оценки:

Способность к преобразованию	3,0
Способность к концентрации	2,5
Способность к делимости	2,0 -
Легкость в управлении	1,5
Гигиеничность	1,0
Всего	10,0

Относительное значение каждого из этих свойств есть величина переменная, зависящая от технологических и социальных требований на каждом этапе. Очевидно, например, возрастание в перспективе роли гигиенических особенностей электроэнергии. Однако главная роль среди технологических свойств электроэнергии всегда будет принадлежать ее способности к прямым и обратным преобразованиям, во многом определяющей другие качества этого энергоносителя и его универсальный характер.

Далее по 10-балльной шкале были получены оценки для каждого энергоносителя:

	Электро- энергия	Топливо прямого использования		Тепловая энер- гия	
		твер- дое	газооб- разное	пар	горячая вода
Способность к преобразованию ¹	10	4	4	3,5	1,5
Способность к концентрации у потребителя	10	3	8	5	5
Способность к делимости	10	2	4	7	5
Легкость в управлении	10	3	6	7	6
Гигиеничность	10	3	5	6	8

¹ Определялась ориентировочно с учетом коэффициентов преобразования из табл. 7-13.

В результате с учетом весовых коэффициентов была получена условная совокупная оценка сравнительной ценности отдельных энергоносителей (табл. 7-15). Как видно при принятых условиях коэффициент ценности $k_{\text{д}}$ электроэнергии примерно в 3 раза превышает $k_{\text{д}}$ твердого топлива и в 2 раза других энергоносителей.

Высокая потребительская ценность электроэнергии определила то чрезвычайно важное обстоятельство, что развитие общественного производства и энергетического хозяйства сопровождалось во всех странах мира повышением доли энергии, используемой в преобразованном виде, в первую очередь электроэнергии. Это положение может быть проиллюстрировано следующими данными. Если считать, что непосредственное использование топлива не требует никаких предшествующих преобразований, использование пара и горячей воды связано с предшествующим однократным преобразованием топлива, а использование электроэнергии (кроме гидроэнергии) вызывает двукратное преобразование, то средневзве-

Экспертная характеристика технологических свойств основных энергоносителей

Технологические свойства	Весовой коэффициент k_B	Электроэнергия		Топливо прямого использования				Тепловая энергия			
		оценка в баллах	то же, с учетом k_B	твердое		газообразное		пар		горячая вода	
				оценка в баллах	то же с учетом k_B	оценка в баллах	то же с учетом k_B	оценка в баллах	то же с учетом k_B	оценка в баллах	то же с учетом k_B
Способность к преобразованию	3	10	30	4,1	12,3	4,0	12,0	3,5	10,5	1,5	4,5
Способность к концентрации	2,5	10	25	3	7,5	8	20	5	12,5	5	12,5
Способность к делимости	2,0	10	20	2	4	4	8	7	14	5	10
Легкость в управлении	1,5	10	15	3	4,5	6	9	7	10,5	6	9
Гигиеничность	1,0	10	10	3	3	5	5	6	6	8	8
Коэффициент ценности k_d	10	10	10	3,1	3,1	5,4	5,4	5,3	5,3	4,4	4,4

Таблица 7-16
Увеличение числа преобразований энергетических ресурсов в СССР (без потерь на транспорте)

Показатели	Число преобразований	Годы					
		До 1917		1930		1950	
		млн. т условного топлива	%	млн. т условного топлива	%	млн. т условного топлива	%
Общее потребление первичных энергетических ресурсов $\mathcal{E}_\Sigma$	—	92,3	100	167,5	100	386,7	100
В том числе:							
гидроэнергия Γ	1*	—	—	—	—	1,5	0,4
топливо на непосредственное использование T_H	0	82,5	89,3	140	84,5	284	7,24
топливо на выработку тепла T_T	1	7,5	8,2	16,1	9,7	57,2	14,8
топливо на выработку электроэнергии, T_Σ	2	2,3	2,5	9,6	5,8	44,0	11,4
Общее число преобразований, подсчитанное по формуле $T_{H.0} + T_{T.1} + T_{\Sigma.2} + \Gamma.1$		0,13		0,21		0,38	
$\eta_{\Pi} = \frac{\mathcal{E}_\Sigma}{T_{H.0} + T_{T.1} + T_{\Sigma.2} + \Gamma.1}$						0,62	

* Учтено преобразование гидроэнергии в электроэнергию.

шенное число преобразований для СССР можно проследить по данным табл. 7-16 *.

Как видно, общее средневзвешенное число преобразований увеличилось в СССР за рассматриваемый период с 0,13 до 0,62 — главным образом за счет роста доли энергетических ресурсов, идущих на выработку электроэнергии — с 2,5% в 1917 г. до 19,3%, в 1971 г. Это отражает рост значения электроэнергетики в общем потреблении энергоресурсов и возрастающую роль электрификации в народном хозяйстве. Увеличение доли топлива, идущего на выработку электроэнергии, на 1% эквивалентно для значения k_n увеличению доли топлива, идущего на выработку тепла, на 2%.

Если удельный вес топлива прямого использования за счет развития автомобильного транспорта и других мобильных процессов останется на уровне 1971 г., т. е. $T_n \cdot 100 / \Sigma = 54,6$, то максимальное значение k_n , которое может быть теоретически достигнуто за счет полной замены электроэнергией пара и горячей воды, составит 0,89 **.

Если доля топлива прямого использования в общем потреблении энергетических ресурсов $T_n \cdot 100 / \Sigma$ будет снижаться, то значение $k_n > 1$ может быть достигнуто при

Таблица 7-17

Значение общего числа преобразований при различных структурах использования топлива

Использование топлива по различным направлениям, % Σ			k_n
T_n	T_g	T_T	при $T_{\Sigma 1} = 0,5 \Sigma$; $T_T = 1 - T_{\Sigma 1} - T_n - \Gamma$
45	45	9	1,1
40	40	19	1,2
35	35	29	1,3
33	33	33	1,34
30	30	39	1,4

* Для упрощения расчета преобразования, которые могут условно считаться промежуточными (преобразование химической энергии топлива в тепло высокого потенциала, преобразование тепловой и силовой энергии пара в механическую — в турбогенераторах), опущены.

** Для упрощения принято, что отношение $\Gamma \cdot 100 / \Sigma$ остается неизменным на уровне около 1%.

значительно меньшем относительном значении T_0 , что видно из следующих данных табл. 7-17.

Может быть также выведен показатель полноты преобразований Π_n . Пусть в идеальном случае, когда все топливо направляется на выработку электроэнергии, полный коэффициент преобразования k_n^n равен

$$k_n^n = \frac{2T + \Gamma}{T + \Gamma}, \quad (7-4)$$

где T — общее количество используемых первичных энергетических ресурсов; Γ — количество первичных ресурсов в виде гидроэлектроэнергии.

Тогда

$$\Pi_n = \frac{k_n \cdot 100}{k_n^n}. \quad (7-5)$$

Значение Π_n , вычисленное по данным табл. 7-16, составляет: для периода до 1917 г. 6,5%, для 1930 г. 11%; 1950 г. 19%; 1971 г. 32%.

Если максимальное значение $\Gamma = 0^*$, то $k_n^n = 2$. При $T_0 = \mathcal{E}_2$ $k_n = 2$, тогда максимальное значение $\Pi_n = 100$.

Показатель Π_n по существу близок показателю полной электрификации. Он вычислен не непосредственно, а через структуру потребления первичных энергоресурсов и здесь не учтен к. п. д. потребительских установок. Поэтому показатель Π_n не может заменить показателя полной электрификации и должен использоваться для ориентировочных характеристик.

В соответствии с изменением структуры энергоносителей может быть оценено повышение средней потребительной ценности видов энергии (табл. 7-18).

Таким образом, повышение удельного веса качественных топлив в энергобалансе страны, рост доли энергии, используемой в преобразованном виде, и рост коэффициента электрификации СССР привели к существенному повышению средней ценности используемых в народном хозяйстве энергоносителей.

При этом главную роль в повышении ценности энергоресурсов сыграло увеличение коэффициента электри-

* Для упрощения относительной величиной Γ вследствие ее малых значений для условий СССР можно пренебречь.

Таблица 7-18

**Повышение средней потребительской ценности $k_{\text{ц}}^{\text{сп}}$
используемых в народном хозяйстве СССР энергоносителей
по подведенной энергии**

Энергоносители	$k_{\text{ц}}$	Годы							
		До 1917		1930		1950		1971	
		Структура, %	$k_{\text{ц}}^{\text{сп}}$ с учетом $k_{\text{ц}}$	Структура, %	$k_{\text{ц}}^{\text{сп}}$ с учетом $k_{\text{ц}}$	Структура, %	$k_{\text{ц}}^{\text{сп}}$ с учетом $k_{\text{ц}}$	Структура, %	$k_{\text{ц}}^{\text{сп}}$ с учетом $k_{\text{ц}}$
Электроэнергия	10	0,3		1,1		3,7		12,9	
Пар и горячая вода (в среднем)	5,0*	3,7		5,6		11,5		32,0	
Твердое топливо ¹	3,1	96,0		91,8		66,0		39,3	
Газообразное топливо ¹	5,4	—		1,5		18,8		15,8	
Всего, округленно (без жидкого топлива)		100	3,2	100	3,3	100	4,0	100	5,0

¹ Округленно.

фикации. Если бы доля электроэнергии в подведенной энергии в 1971 г. оставалась на уровне до 1917 г. *, то средний коэффициент ценности энергоносителей составлял только 4,2. При современном коэффициенте электрификации и отсутствии (как до 1917 г.) в балансе энергоносителей газообразного топлива средний коэффициент ценности последних понизился бы менее значительно — до 4,6.

В результате сводные показатели сдвигов в использовании энергетических ресурсов СССР могут быть охарактеризованы данными, приведенными в табл. 7-19.

Преимущества электроэнергии обеспечили глубокие сдвиги в структуре технологий. Они определили возможность промышленного применения все более сложных форм движения материи, в том числе развитие высокопроизводительных химических технологий, охватывающих не только собственно химическую промышленность, но и металлургию. Возможность широкого

* За счет увеличения доли твердого топлива прямого использования.

Динамика обобщающих показателей использования энергетических ресурсов СССР

Показатели	Годы			
	До 1917	1930	1950	1971
Общее количество первичных энергетических ресурсов, млн. т условного топлива	94	172	398	1178
Коэффициент электрификации (по полезной энергии)	0,17	0,74	3,2	13,0
Среднее число преобразований $k_{п}$	0,13	0,21	0,38	0,62
Коэффициент полноты преобразований $\Pi_{п}$	6,5	11	19	32
Коэффициент средней потребительской ценности энергоносителей $k_{ц}^{ср}$	3,2	3,3	4,0	5,0

технологического использования электроэнергии была особенно глубоко подмечена Г. М. Кржижановским, исходящим из современных ему достижений физики, в первую очередь физики электричества. Эта физика, считал Г. М. Кржижановский, подготовит систематическое вторжение электричества в строение вещества, приведет к новым все более эффективным электрохимическим и электрометаллургическим процессам [1. 49].

Реализация качественных преимуществ электроэнергии осуществляется с учетом технологической возможности использования электричества в различных процессах. Поэтому можно говорить о динамике технологических потенций использования электроэнергии во времени. Основой этих потенций является объективная способность электроэнергии к преобразованию в другие виды энергии. Именно это качество подчеркивал Ф. Энгельс, говоря о том, что «использование электричества откроет нам путь к тому, чтобы превращать все (подчеркнуто нами) виды энергии — теплоту, механическое движение, электричество, магнетизм, свет — одну в другую и обратно и применять их в промышленности»¹. Однако способность электроэнергии к преобразованиям в промышленном масштабе проявляется во времени через:

способности электроэнергии к замене других энергоносителей, которая определяется сложившейся и скла-

¹ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 35. М., Госполитиздат, 1964, с. 374.

дывающейся на перспективу отраслевой и технологической структурой народного хозяйства. В этом отражается также связь между структурой общественного производства и уровнем его электрификации;

развитие способов генерирования электроэнергии (а также ее транспорта и распределения), которые зависят от технического уровня и структуры собственно энергетического хозяйства.

При этом должны быть оценены не только технологическая возможность, но и социально-экономические показатели действия этих внешних и внутренних по отношению ко всей энергетике факторов электрификации. Таким образом, главным вопросом, определяющим направления и перспективные уровни электрификации, является оценка эффективности прямых и обратных преобразований электроэнергии и прежде всего затрат на генерирование электроэнергии и затрат, связанных с ее использованием.

7-3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВА И ФАКТОРЫ, ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

В отличие от показателей производства электроэнергии, тепла и топлива прямого использования, соотношения между которыми в течение современного этапа развития энергетического хозяйства, как это показано в гл. 5, будут меняться весьма в ограниченных пределах, экономические и энергетические характеристики отдельных технологий, связанных с конечными энергоносителями, весьма различны. Это позволяет при технологической взаимозаменяемости применять их разные варианты. В табл. 7-20 даны иллюстративные показатели, характеризующие удельные капиталовложения на создание взаимозаменяемых установок и методов производства в ряде отраслей промышленности.

Исследование эффективности электрификации и масштабов ее развития должно опираться на прогноз развития техники и технологии основных производственных процессов, в первую очередь на прогноз структуры потребительских установок, их энергетических и экономических параметров. При заданных соотношениях в стоимости различных энергоносителей именно технологическая структура производства материальных благ и ус-

Примерные удельные капиталовложения для взаимозаменяемых вариантов технологического оборудования

Отрасль промышленности	Наименование продукта или процесса	Взаимозаменяемые установки или методы и удельные капиталовложения, руб/т продукции	
Машиностроение	Плавка чугуна	Вагранка 50	Индукционная тигельная печь 230
	Производство поковок	Пламенный нагрев 10	Электронагрев 20
	Получение полнэтлена	Реакторы трубчатого типа 300—370	Комбинированные реакторы 180
Химическая	Получение полиацетатных смол	Периодическое 1980	Непрерывное 1090
	Производство химволокна	Центрифугальный 710—720	Непрерывный 650
	Прядение	Кольцевое 620	Пневмомеханическое 1470
Легкая	Ткачество	Челночное 80*	Пневморашное 480*
	Сушка	Паровая 55	Электрическая 50
	Изготовление сухих кормов	Периодический способ 130—140.	Непрерывный способ 80—90
Мясо-молочная	Консервирование шкур	Тузулование 10—15	Бестузульный метод 1
	Выработка масла	Установка периодического действия 50	Установка непрерывного действия 60
			Из контактных газов 800

* На 1000 м².

луг будет в основном определять структуру энергоносителей, рациональный уровень электрификации народного хозяйства и, следовательно, масштабы потребления электроэнергии.

Технологическая структура производства — категория динамическая. Ее формирование на каждом этапе развития складывается под воздействием большого числа факторов. Среди них на первое место можно поставить отраслевую и продуктовую структуру народного хозяйства, а также уровень и темпы технического прогресса.

Отраслевая и продуктовая структуры народного хозяйства в условиях плановой экономики формируются исходя из основных социально-экономических задач развития социалистического общества и вытекающих отсюда требований к пропорциям в материальном и трудовом балансе страны. Уровень технического прогресса и темпы его развития активно воздействуют на продуктовую и отраслевую структуры производства, особенно в тех случаях, когда под их влиянием создаются принципиально новые прогрессивные орудия труда, продукты и материалы.

В современную эпоху научно-технической революции роль технического прогресса как исходного пункта формирования технологической структуры производства особенно велика. В материалах XXIV съезда КПСС было отмечено, что «научно-техническая революция открывает возможности рационального преобразования методов производства, создания принципиально новых, высокопроизводительных орудий труда, прогрессивных материалов,... обеспечивает невиданные ранее возможности повышения эффективности всей производственной деятельности» [Л. 1, с. 139—140]. Происходит непрерывный процесс преобразования техники и технологии производства; в этом процессе роль прогрессивной технологической структуры особенно возрастает. Поэтому XXIV съезд КПСС указывал на необходимость при вводе новых мощностей использовать только современную технологию.

Значение внедрения прогрессивных технологий подчеркнуто в решениях XXV съезда КПСС. Намечен ряд конкретных направлений перестройки отраслевой и технологической структуры общественного производства и соответствующие меры по расширению выпуска про-

грессивного оборудования, реализация которых обеспечит рост эффективности народного хозяйства, повышение качества продукции в десятом пятилетии и последующие годы.

Многие из этих направлений и мер тесно связаны с расширением использования электроэнергии. К ним, например, относятся: развитие прогрессивной малооперационной технологии и в том числе бездоменной металлургии, безверетенного прядения и бесчелночного ткачества, создание более прогрессивной структуры конструкционных и других материалов, в том числе за счет повышения доли алюминия и титана в общем выпуске материалов. Это вызовет дальнейшее развитие электролитических и электротермических процессов, опережающее увеличение производства полимерных материалов, рост производства новых видов пластмасс, химических волокон (производство пластмасс увеличится в 2 раза, химических волокон — до 1460 тыс. т в 1980 г.).

Важным обстоятельством является поворот в конструкциях и технологиях к материалосберегающему направлению, в первую очередь за счет повышения качества продукции, развития кислородно-конверторного и электросталеплавильного производства, развития новых видов переплавов в черной металлургии, развития мощностей по термической обработке металла. Предстоит осуществить более глубокую и комплексную переработку сырьевых ресурсов, прежде всего ряда цветных металлов, что потребует интенсивного перехода на электроплавку в цветной металлургии. Для улучшения условий труда и быта людей намечено увеличение выпуска оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции, новых электробытовых приборов и электроплит повышенной комфортности, что приведет к расширению применения электроэнергии в санитарно-гигиенических процессах и в быту. В этих условиях особенно возрастает роль электрификации (рис. 7-2) в формировании отраслевой и технологической структуры производства (этот рисунок показывает только общие тенденции без количественной оценки).

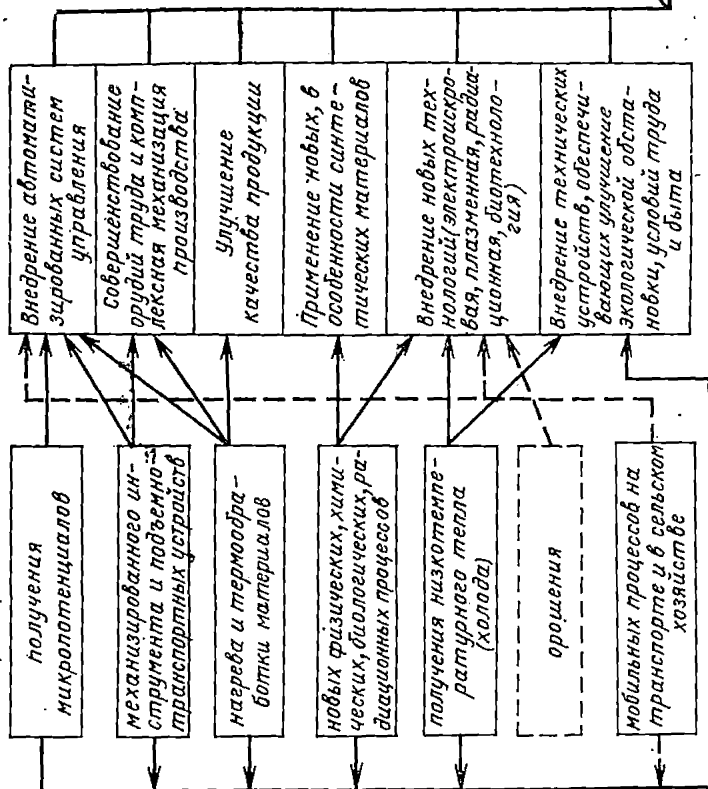
Как показывает анализ тенденций развития общественного производства, ускорение технического прогресса и рост производительности труда базируется на увеличении скоростей производственных процессов, ужесточении их режимных характеристик и постепенном перехо-

Рис. 7-2. Роль электрификации в осуществлении структурных сдвигов в общественном производстве.

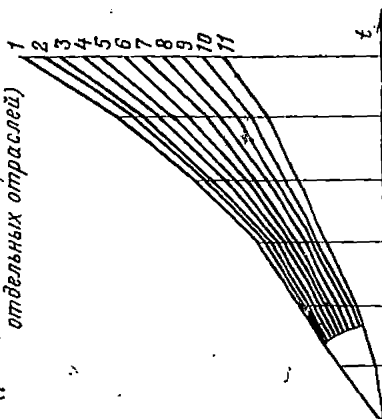
1 — средства и приборы автоматизации; 2 — оборудование и машины для машиностроения; 3 — отрасли машиностроения, обеспечивающие развитие новых отраслей и производств; 4 — ядерная энергетика; 5 — микробиологическая промышленность; 6 — полимерные материалы; 7 — химическая промышленность в целом; 8 — машиностроение в целом; 9 — сфера обслуживания; 10 — промышленность в целом; 11 — транспорт.

Технические сдвиги

Использование электроэнергии для:



Отраслевые сдвиги (различные темпы развития отдельных отраслей)



де на непрерывную технологию; появлений новых методов обработки материалов, на основе которых осуществляется постоянное обновление ассортимента и повышение качества продукции, а также постепенный переход к безотходному технологическому процессу; повышении уровня комфортности промышленных и гражданских зданий в связи с ростом требований к условиям труда и быта людей.

Указанные направления требуют соответствующей перестройки энергетической базы производства. Необходимо увеличить степень управляемости энергетическими потоками, в ряде случаев обеспечить резкое возрастание их интенсивности и концентрации (до 10—20 МВт на 1 см² поверхности обрабатываемого материала).

Осуществление этих требований определяет не только высокие темпы потребления энергетических ресурсов, но и перестройку структуры энергоносителей за счет увеличения доли электроэнергии, имеющей наиболее высокие потребительские свойства. Эта перестройка в значительной мере зависит от отраслевой и продуктовой структуры производства и определяется следующими факторами: изменением степени технологической взаимозаменяемости потребительских установок и энергоносителей; эффективностью использования «электрических» технологий; возможностью применения новых технических решений во времени. Исследование этих вопросов должно включать сравнение возможных вариантов структур технологий.

Представляется, что для обоснования уровней электрификации можно ограничиться анализом 150—200 представительных наборов технологий, в основном определяющих структуру энергоносителей в народном хозяйстве. Эта задача требует широкой информации. Рассматриваемые ниже основные направления развития электрификации в связи с формированием новой структуры технологий затрачивают лишь методические вопросы.

В основе взаимозаменяемости энергоносителей лежит их способность к преобразованию в другие виды энергии. Однако производственное осуществление этой способности происходит в условиях определенных технологий и их структур и зависит от общего технического уровня производства в отдельных отраслях народного хозяйства. Если способность к преобразованию есть

свойство самих энергоносителей, то способность к взаимозаменяемости — это свойство технологий, в которых данные энергоносители используются. Поэтому анализ взаимозаменяемых технологий и энергетических процессов может осуществляться для принципиально различных уровней. На первом уровне заменяемость связана с изменением самого технологического принципа производства. Например, получение металла доменным или бездоменным производством; формование деталей в машиностроении из порошка в магнитном поле, резанием или давлением; получение водорода пиролизом углеводородного сырья, глубоким охлаждением коксового газа или электролизом воды и т. п. Второй уровень — это применение различных технологических способов производственного процесса в рамках одного технологического принципа. Например, холодная штамповка или горячая штамповка с предварительным нагревом металла и т. п. На третьем уровне осуществляется применение различных энергоносителей в одной технологической схеме. Например, нагрев заготовок под ковку и штамповку в электропечах или в пламенных печах и т. п.

По влиянию на структуру энергоносителей взаимозаменяемые наборы технологий в свою очередь могут быть условно разделены на три группы:

не различающиеся существенно по структуре и количеству потребляемых энергоносителей. К этой группе, например, относятся технологии, различающиеся уровнем модернизации, отладки оборудования и режима его использования;

существенно различающиеся по потреблению одного и того же энергоносителя. Например, резание металла на механических станках или электроискровая обработка металла требуют разного количества электроэнергии для выполнения одинакового объема работ;

различающиеся по видам используемых энергоносителей, например плавка металла в дуговых электропечах или пламенных печах; отопление с помощью горячей воды, или непосредственный нагрев воздуха электрокаминами, электрокалориферами, греющим кабелем и т. д.

Для прогноза уровня электрификации наибольший интерес представляют наборы технологий второй и третьей групп. Наконец, по способности к взаимозамене-

няемости все технологии общественного производства можно условно разделить на пять классов.

Первый класс — это технологии, где используется только электроэнергия, а ее замена либо технологически невозможна (некоторые виды стационарных силовых процессов, электротермические процессы с особо высоким температурным потенциалом¹, электролиз), либо резко снижает эффективность всей технологии (освещение, бытовые приборы, силовые стационарные процессы в большинстве отраслей народного хозяйства).

Второй класс объединяет технологии, где электроэнергия в настоящее время применяется лишь частично, хотя ее использование вместо топлива, пара и горячей воды технологически допустимо и экономически может быть эффективным. К этому классу относятся: часть силовых процессов в машиностроении и нефтепереработке (например, связанных с использованием паровых молотов, а также паровых насосов); ряд средне- и низкотемпературных тепловых процессов (сушка в машиностроении, химической, пищевой и легкой промышленности, пропарка железобетонных изделий в промышленности строительных материалов, отопление, вентиляция и горячее водоснабжение жилых, общественных и промышленных зданий в южных районах страны на базе тепловых насосов и т. п.); некоторые высокотемпературные процессы (приготовление пищи в жилых домах, ряд процессов плавки в цветной и черной металлургии, плавка черных металлов и частично нагрев заготовок под ковку, штамповку и термообработку в машиностроении, выпечка хлебобулочных изделий). Вытеснение пара, горячей воды и топлива в этих процессах связано прежде всего с объемом производства специального электрического оборудования и конкретными условиями перехода на электротехнологию.

Третий класс включает технологии того же вида, что и второй. Однако возможность использования электроэнергии здесь связана с совершенствованием потребительских электроаппаратов, особенно с увеличением единичной мощности оборудования. Увеличение оборудования приведет к снижению его удельной стоимости и увеличению энергетического к. п. д., что обеспечит лучшие экономические показатели использования элект-

¹ Например, плавка абразивов, требующая температуры более 2000° С, которая недостижима сегодня в пламенных печах.

троэнергии. Использование электроэнергии для этих технологий возможно в относительно недалекой перспективе, однако лишь там, где топливо не применяется в качестве непосредственного агента технологического процесса, например восстановителя металлов.

Четвертый класс охватывает технологии, где применение электроэнергии возможно по условиям технологического процесса, но пока экономически неэффективно. К их числу относится большинство низкотемпературных процессов, где электроэнергия выступает как промежуточный энергоноситель при производстве пара и горячей воды. В высокотемпературных процессах этого класса, например, в обжиговых, непосредственное использование электроэнергии требует изменения аппаратного оформления процессов и их параметров.

Пятый класс включает технологии, где применение электроэнергии пока не подготовлено технологически. Сюда относятся мобильные силовые процессы на транспорте и в сельском хозяйстве, а также все тепловые процессы, где использование пара и горячей воды требуется по условиям протекания физико-химических реакций (пар для создания повышенного давления, влажности; горячая вода для растворения; пар и топливо как восстановитель и т. п.) или связано с соображениями взрыво- и пожаробезопасности.

Таблица 7-21

Соотношение между технологиями по возможности замены пара, горячей воды и топлива электроэнергией на уровне 1970 г.

Классы	Абсолютное потребление энергоносителей (в подведенной энергии)		Структура, %	
	Пар и горячая вода, млн. Гкал*	Топливо прямого использования, млн. т условного топлива	Пар и горячая вода	Топливо прямого использования
II	460	45	24	14
III	130	20	7	6
IV	1060	50	56	16
V	235	200	13	64
Итого	1885	315	100	100

* Включая мелкие отопительные установки.

За пределами классификации остается потребление энергетических ресурсов, когда они используются непосредственно в качестве углеродного или углеводородного сырья, т. е. их неэнергетическое использование.

Соотношение между принятыми классами технологий на уровне потребления энергоносителей в 1970 г., по нашему мнению, оценивается следующими величинами (табл. 7-21).

Как видно из этой таблицы, свыше половины потребления пара и горячей воды относится к технологии четвертого класса, где внедрение электроэнергии пока неэффективно. Почти 2/3 топлива прямого использования расходуется в технологиях пятого класса, и, следовательно, его замена на электроэнергию в настоящее время еще более проблематична.

По данным табл. 7-20 нами было оценено количество электроэнергии, которое потребовалось бы для замены пара, горячей воды и топлива прямого использования в технологиях всех классов. Результаты этой оценки представлены в табл. 7-22.

Таблица 7-22

Электрический эквивалент возможных к замещению энергоносителей: пара, горячей воды и топлива прямого использования, потребляемых в народном хозяйстве на уровне 1970 г., млрд. кВт·ч

Классы	Пар и горячая вода	Топливо прямого использования	Всего
II	310	125	435
III	100	85	185
IV	1125	375	1500
V	270	2715	2985
Итого II—V	1805	3300	5105

Если условно отвлечься от экономических оценок, то на уровне 1970 г. размеры потребления электроэнергии в народном хозяйстве за счет технологий второго класса могли бы быть увеличены на 430 млрд. кВт·ч, или на 70% по отношению к ее фактическому потреблению. При решении технических вопросов внедрения электроэнергии для технологий третьего класса потребление ее могло бы возрасти еще на 180 млрд. кВт·ч. Тогда на уровне 1970 г. оно составило бы 1250 млрд. кВт·ч (не

считая потерь в сетях и расхода на собственные нужды электростанций), или вдвое выше фактического потребления.

Для большей части технологий четвертого и пятого классов, потребляющих топливо прямого использования и тепловую энергию, только освоение новых методов производства электроэнергии и связанный с этим рост ее экономической эффективности создадут условия для перевода их на электроэнергию. Здесь переход на каждый последующий класс, т. е. замена электроэнергии пара, горячей воды и топлива прямого использования в наиболее массовых процессах энергопотребления, означал бы очередное удвоение потребления, электроэнергии и коэффициента полной электрификации (табл. 7-23).

Для рассматриваемого состава технологий, охватывающих примерно 85% всего конечного потребления тепла и топлива, электрический эквивалент составляет

Таблица 7-23

Гипотетические масштабы потребления электроэнергии и коэффициенты полной электрификации при последовательном переводе на электроэнергию технологий и процессов различных классов на уровне 1970 г.

Показатели	Коэффициент полной электрификации	Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч
Уровень 1970 г. (без потерь и собственных нужд электростанций)	11	630
То же при переводе на электроэнергию процессов и технологий отдельных классов:		
II	19	1065
II и III	22	1250
II, III и IV	48	2750
II, III, IV и V	100	5735

около 6 триллионов кВт·ч. Из них 2/3 приходится на «замещение» топлива прямого использования и 1/3 — тепловой энергии. Это соотношение определяется не только сложившимися в народном хозяйстве пропорциями между энергоносителями по полезной энергии, но и существенными различиями между процессами по к. п. д. энергопотребляющей аппаратуры (табл. 7-24).

Из табл. 7-24 видно, что чем выше возможность замены электроэнергией топлива и тепла, тем благоприят-

Оценка соотношений значений к. п. д. энергопотребляющей аппаратуры в разных классах взаимозаменяемости

Классы	Средние значения к. п. д. установок		Отношение к. п. д. уста- новок, %*	Разница в к. п. д.
	неэлектричес- ких	замещающих электрических		
Топливо прямого использования				
II	22	62	35	+40
III	25	47	50	+32
IV	40	43	95	+3
V	21	13	160	-8
Тепловая энергия (пар и горячая вода)				
II	80	138*	58	+58
III	53	81	65	+28
IV	95	95	100	0
V	50	50	100	0

* С учетом преобладания здесь процессов отопления в южных районах страны и возможности использования тепловых насосов со средним коэффициентом преобразования более 2.

нее для электрических процессов соотношение к. п. д. сравниваемых установок. Это показывает, что повышение к. п. д. электрического оборудования потребителей при прочих равных условиях становится важным фактором расширения областей применения электроэнергии в народном хозяйстве. Действительно, процессы второго и третьего классов, на которые приходится около 1/3 потребления пара и горячей воды и 1/5 часть потребности в топливе прямого использования, имеют наилучшие с точки зрения электрификации соотношения в к. п. д. сопоставляемого оборудования и технологически более полно подготовлены к переходу на электроэнергию.

Исследование эффективности применения электротехнологий предполагает сравнение сопоставимых вариантов по потребительским эффектам и затратам на осуществление. Однако существующая практика энергэкономического сравнения вариантов с различными технологиями часто не учитывает достаточно величину потребительского эффекта. Очевидно, что в основе сравнения вариантов лежит их сопоставимость непосредственно по полезному эффекту. Под ним следует понимать объем продукции или услуг, сопоставимых по своим количест-

венным и качественным параметрам. Проблема сопоставимости по качеству полезного эффекта весьма сложна, если учитывать не только прямой, но и косвенный эффект. Последний заключается, в частности, в различных условиях труда в зависимости от характера технологических процессов и применяемого энергоносителя.

В перспективе непрерывно возрастает социальное значение электрификации. «Экономика развитого социалистического общества, — подчеркнуто в материалах XXV съезда КПСС, — с его мощным производственным и научно-техническим потенциалом позволяет все шире использовать преимущества и возможности социалистического строя, и в частности определить... **большую программу социального развития и повышения уровня жизни народа**» [Л. 2]. Такие направления развития общественного производства как дальнейшее развитие механизации и автоматизации, внедрение новых технологий выступают сегодня не только как фактор повышения производительности труда, но одновременно как важнейшее условие его облегчения и изменения характера трудовой деятельности людей и условий его жизни. Прямой и косвенный эффект функционирования той или иной технологии должен рассматриваться теперь как совокупный эффект, в котором учтены не только результаты, но и условия производства.

Исследование этого вопроса применительно к эффекту от электрификации только начато, но уже теперь ясно, что учет социального эффекта применения электроэнергии является одной из важнейших особенностей выбора технологий и энергоносителей¹.

Экономические сравнения технологий осуществляются по совокупным показателям всей цепи затрат, включающей показатели добычи первичного топлива, его транспорта, преобразования, распределения и использования, т. е. затрат на собственно технологию. Таким образом, суммарные затраты по сравниваемым технологиям можно представить в виде двух частей: энергетической и технологической составляющей. Для сравнения технологий важно знать, какая часть затрат меняется. Величина этой переменной части зависит от сравниваемых технологий и энергетических процессов.

¹ Потребительские качества электроэнергии в части создания лучших условий труда могут быть оценены в первом приближении через условное снижение затрат на здравоохранение.

Если они различны в самом технологическом принципе производства и, следовательно, имеют резко отличное устройство оборудования, различные его габариты, то варианты неодинаковы по всем элементам затрат, включая затраты на здания и сооружения, затраты на сырье и т. д.; могут меняться характер и показатели последующих технологических процессов. Если производится выбор энергоносителя в рамках одной технологической схемы, то варианты могут существенно различаться только в части затрат на создание и эксплуатацию оборудования на локальном участке всего технологического процесса производства.

Одна из наиболее сложных частей прогноза электрификации — анализ возможности внедрения эффек-

Таблица 7-25

Объем незавершенного строительства в СССР¹

Отрасли	Годы				
	1960	1965	1970	1972	1974
Электроэнергетика:					
всего, млрд. руб.	1,43	2,13	3,06	3,63	3,91
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,85	0,85	0,99	1,06	1,1
Угольная, нефтяная и газовая промышленность:					
всего, млрд. руб.	2,41	3,59	5,13	6,49	7,1
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,93	1,15	0,9	1,11	0,91
Черная металлургия:					
всего, млрд. руб.	0,94	1,58	2,24	3,01	3,5
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,66	0,86	1,08	1,27	1,17
Химическая и нефтехимическая промышленность:					
всего, млрд. руб.	0,97	2,29	2,87	3,47	4,5
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,92	1,06	1,19	1,25	1,29
Машиностроение и металлообработка:					
всего, млрд. руб.	1,46	2,53	4,89	6,33	7,4
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,70	0,79	0,80	0,91	0,93
Пищевая промышленность:					
всего, млрд. руб.	0,90	0,89	1,7	1,95	1,9
на 1 руб. капиталовложений, руб.	0,57	0,52	0,73	0,78	0,65

¹ Рассчитано по статистическим ежегодникам «Народное хозяйство СССР».

тивных электротехнологий во времени. Эта возможность во многом зависит от инерции в развитии экономики.

Увеличение масштабов и сложности решаемых задач, тесноты взаимосвязей в народном хозяйстве — все это усиливает инерционность технического и экономического развития. В настоящее время крупные материальные и финансовые ресурсы оказываются надолго связанными в рамках принятых решений, выходящих далеко за пределы пятилетних планов, а иногда и за пределы более длительных сроков. Важным фактором инерционности является также большой объем незавершенного строительства (табл. 7-25).

В этих условиях технологическая структура общественного производства предопределена на ближайшие годы в известной мере имеющимися проектными заданьями и уже начатыми строительством объектами.

Инерционности экономического развития научно-техническая революция противопоставляет усиливающееся влияние новых динамических технических, экономических и социальных факторов. К их числу относится ускорение научно-технического прогресса и сокращение периода освоения научных открытий и изобретений. Это можно проиллюстрировать данными табл. 7-26.

Таблица 7-26

Время от открытия (изобретения) до его промышленной реализации¹

Открытие (изобретение)	Годы		Время от открытия (изобретения) до промышленного освоения, лет
	открытия (изобретения)	внедрения	
Фотография	1727	1839	112
Принцип телефонной связи	1820	1876	56
Принцип радиосвязи	1867	1902	35
Телевидение	1922	1936	14
Принцип локации	1926	1940	14
Транзисторы	1948	1953	5
Лазер (на основе мазера)	1953	1961	5

¹ Управление социалистической экономикой. М., „Московский рабочий“, 1972, с. 247

Непрерывно растет доля новой продукции в основных и особенно в новых отраслях народного хозяйства. Так, по данным Э. Янча, доля новой продукции ко всему

объему продажи, например, в США составляла, % [Л. 130, с. 81]:

	1961—1965	1966—1969
Автомобильная промышленность . . .	2,5	5,5
Авиакосмическая промышленность . . .	} 8,5	10,0
Транспортное машиностроение . . .		5,8
Электротехническое машиностроение . . .	5,5	6,0
Электронная промышленность	Нет	20,9
	данных	
Промышленность строительных мате- риалов	3,3	4,3

В СССР было создано новых типов машин, оборудо-
вания и приборов [Л. 70]:

Годы	тыс. шт. образцов
1951—1955	4,3
1956—1960	12,9
1961—1965	23,2
1966—1970	21,3
1971—1974	15,9

Развитие и смена технологий, определяющие в ко-
нечном счете динамику производительности труда и
экономического роста, схематично представлены на
рис. 7-3.

В начальный период развития технологии (в зоне
освоения) затраты, связанные с ее созданием, растут,
одновременно происходит совершенствование техниче-
ских параметров осваиваемой технологии, а ее экономи-
ческие параметры улучшаются. Затем наступает период
активного развития и совершенствования технологии:
затраты на ее освоение начинают снижаться; техниче-
ские параметры продолжают совершенствоваться, но
медленнее, чем в период начального освоения; удель-
ные затраты на освоение продолжают снижаться. Через
некоторое время технология вступает в период экономи-
ческого насыщения, когда дальнейшее улучшение тех-
нических параметров сопровождается увеличением
удельных затрат. К этому времени целесообразно на-
чать внедрение новой более производительной и эффек-
тивной технологии. Наконец, в зоне технического насы-
щения происходит постепенная стабилизация техниче-
ских параметров более старой технологии, на смену ко-
торой приходит новая технология, уже прошедшая ста-
дию активного развития и совершенствования.

Важным фактором смены технологий является уско-
рение обновления оборудования в народном хозяйстве.

Для внедрения подготовленных новых технологий большое значение имеют условия производства оборудования. Чем сложнее это оборудование и чем меньше задел выпускающих его производственных мощностей в народном хозяйстве, тем выше требования к смежным отраслям промышленности. Соответственно меняется и

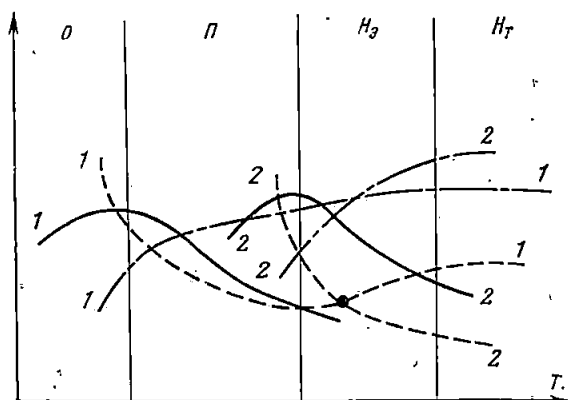


Рис. 7-3. Принципиальные закономерности смены технологий.

1, 2 — технологии: — — — затраты на освоение; — — — — — технические параметры; — — — — — экономические параметры (удельные затраты); ● — точка равенства экономических параметров (удельных затрат). Периоды первой технологии: начального освоения (O); активного развития и совершенствования (П); экономического насыщения (H_z); технического насыщения (H_T); T — время.

общая капиталоемкость новых решений. Коэффициенты прямой и полной (т. е. с учетом всех сопряженных затрат) фондоемкости, полученные из межотраслевого баланса основных фондов СССР за 1966 г., показаны в табл. 7-27.

Из приведенных данных видно, что полная фондоемкость продукции отраслей, производящих промышленное оборудование, т. е. с учетом фондов в сопряженных отраслях, значительно выше прямой фондоемкости продукции.

Роль новой техники в приросте основных фондов и, следовательно, ее влияние на структуру технологии отрасли может быть показана через отношение стоимости всех основных фондов к фондам, связанным с новой технологией. Это показано на рис. 7-4. Здесь принято, что в 1-й год рассматриваемого периода в 20 лет удельный вес новой технологии в стоимости основных фондов

Таблица 7-2

Коэффициенты прямой и полной фондоемкости продукции ряда отраслей промышленности¹

Отрасли и производства	Основные производственные фонды на 1000 руб. валовой продукции, руб.		Превышение полной фондоемкости над прямой, число раз
	прямые	полные	
Энергетическое машиностроение	657,2	1815,7	2,8
Электротехническая промышленность	341,1	1424,8	4,2
Производство:			
металлорежущих и деревообрабатывающих станков	761,2	1758,7	2,3
подъемно-транспортного оборудования	424,0	1605,7	3,8
насосно-компрессорного и холодильного оборудования	387,7	1359,7	3,5
технологического оборудования для промышленности:			
легкой	500,8	1350,6	2,7
пищевой	419,5	1445,3	3,4

¹ Народное хозяйство СССР в 1969 г., М., „Статистика“, 1970, с. 48.

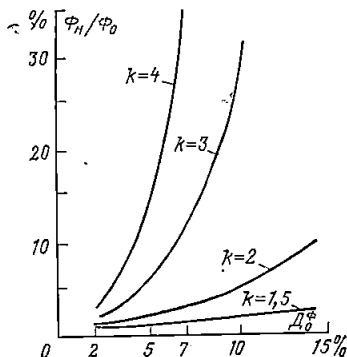
отрасли составлял только 1%. Из рисунка видно, что новая техника должна иметь быстрые темпы развития для того, чтобы сыграть ощутимую роль в общем приросте основных фондов и, следовательно, воздействовать на структуру технологий в целом. Если в начальный момент времени удельный вес новой технологии в стоимости основных фондов какой-либо отрасли составляет 1%, а ежегодные темпы прироста этих фондов намечаются, например, в размере 7%, то, для того чтобы новая технология заняла через 20 лет 1/3 часть всех основных фондов отрасли, нужно, чтобы темпы роста фондов, связанных с развитием этой технологии, составляли 25% в год. Доля новой технологии в стоимости основных фондов отрасли B_t , % в год, может быть определена из следующего выражения:

$$B_t = \frac{a_1 \left(1 + \frac{kp}{100}\right)^t}{A_1 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}, \quad (7-6)$$

где a_1 — стоимость фондов, связанных с новой технологией в начальный год периода; A_1 — то же для всей отрасли; p — темпы прироста стоимости основных фондов отрасли, % в год; $1 + \frac{p}{100}$ — темпы роста стоимости основных фондов, %, в год; k — коэффициент опережения темпов прироста стоимости основных фондов, связанных с новой технологией, ко всем основным фондам отрасли. Если обозначить $a_1/A_1 = b_1$ — отношение стои-

Рис. 7-4. Зависимость доли основных фондов $\frac{\Phi_n}{\Phi_0} \cdot 100\%$, связанных

с новой технологией Φ_n , во всех основных фондах отраслей Φ_0 от ежегодных темпов роста основных производственных фондов $D\Phi_0$ при разных коэффициентах опережения K .



мости фондов, связанных с новой технологией, ко всей стоимости фондов, в 1-м году периода t , то (7-6) примет вид:

$$B_t = b_1 \left(\frac{1 + \frac{kp}{100}}{1 + \frac{p}{100}} \right)^t = b_1 \left(\frac{100 + kp}{100 + p} \right)^t, \quad (7-7)$$

или

$$B_t = b_1 K^t,$$

где $\frac{100 + kp}{100 + p} = K$, а K — коэффициент опережения темпов роста стоимости основных фондов, связанных с новой технологией, % к темпам роста всей стоимости фондов отрасли.

Долгосрочный прогноз должен ориентироваться в основном на крупные научные и технические тенденции, практическое осуществление которых может быть в пределах двух-трех десятилетий. Новые, пока не реа-

лизуемые идеи, образуют для него задел. Поэтому в прогнозируемом периоде следует условно выделять по меньшей мере три этапа изменения структур технологии и соответственно три этапа электрификации страны: ближайший, характеризующийся расширением использования электроэнергии в наиболее эффективных из уже освоенных процессов; основной, связанный с широким внедрением прогрессивных электротехнологий, эффективность которых доказана в проектах или эксплуатации опытно-промышленных установок; заделный, связанный с научно-конструкторской разработкой и началом применения принципиально новых технологий более высокой экономической эффективности.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ И ВЫБОР ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЙ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

8-1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Функциональная роль средств труда (машин и оборудования) в процессе производства с энергетической точки зрения заключается в том, что с их помощью осуществляется вовлечение в производственный процесс природной энергии в необходимых для получения продукции формах и количествах. Поэтому прогресс в технике средств труда можно одновременно рассматривать как прогресс в использовании энергии и повышении энерговооруженности труда. Отсюда следует жесткая взаимосвязь типов оборудования, их конструктивного выполнения не только с видами и характером предметов труда, но и с видами и количеством потребляемых энергоносителей. Выбор и оптимизация структуры энергоносителей идентичны выбору и оптимизации структуры средств труда, предметов труда, т. е. в конечном счете выбору и оптимизации структуры технологий. В связи с этим особое значение имеет анализ факторов, влияющих на выбор энергопотребляющего оборудования, тех-

нологий и энергоносителей. К их числу принадлежат: технические, определяющие технико-экономические параметры оборудования и технологий (к. п. д. и расход энергоносителей, капиталоемкость, материалоемкость, трудоемкость, а также качество получаемой продукции); социально-экономические; природно-географические.

Одним из важнейших технических параметров оборудования является его к. п. д., от которого зависит расход энергоносителей на единицу полезного эффекта. Расход подведенного энергоносителя может быть определен по формуле.

$$\mathcal{E}_n = \frac{Q_n}{r}, \quad (8-1)$$

где Q_n — полезный расход энергии; r — к. п. д. оборудования.

Коэффициенты полезного действия сравниваемых видов оборудования и технологий могут считаться сопоставимыми, когда равным полезным эффектам будет соответствовать равный полезный расход энергии. Между тем это условие далеко не всегда имеет место. Изменение технологического принципа производственного процесса может привести к изменению количества не только подведенной, но и полезной энергии на получение одного и того же полезного эффекта. Действительно, в процессах освещения единицей полезного эффекта можно считать создание заданного уровня освещенности. Уровень освещенности зависит от интенсивности светового потока и квадрата расстояния источника света до освещаемой поверхности. Переход в промышленных цехах с ламп накаливания на люминесцентные лампы, не слепящие и практически не выделяющие тепла, позволяет уменьшить высоту подвеса светильников и получить требуемые уровни освещенности при значительно меньшем световом потоке. Точно так же расход полезной энергии на формообразование материалов будет неодинаков при разных технологиях. Например, получение шайбообразной металлической детали резаньем на токарном станке потребует последовательного снятия с заготовки нескольких слоев стружки. Получение этой же детали выбивкой связано с локальным разрушением металла только по окружности заготовки и его деформацией в прилегающей области. Горячая

штамповка с помощью нагрева — еще один способ производства изделия.

Как указывалось выше, для понятия «полезная энергия» в силовых процессах рекомендуется использовать показатель расхода энергии по работе на валу двигателя.

На практике рабочие машины часто работают с неполной загрузкой и со значительными межоперационными холостыми ходами, в этом случае их к. п. д. значительно падает.

В табл. 8-1 приведены показатели к. п. д. рабочей машины, к. п. д. двигателя и общий к. п. д. привода. Видно, что особенно важно обеспечивать загрузку самой рабочей машины.

Таблица 8-1

К. п. д. привода в зависимости от его загрузки¹

Загрузка, %	К. п. д. рабочей машины		К. п. д. двигателя		Общий к. п. д.	
	в долях единицы	по отноше- нию к максим- альному, %	в долях единицы	по отноше- нию к максим- альному, %	в долях единицы	по отноше- нию к максим- альному, %
5	0,25	31	0,72	82	0,18	25
10	0,40	49	0,75	85	0,30	42
20	0,54	67	0,79	90	0,43	60
30	0,63	78	0,82	93	0,52	73
40	0,67	83	0,84	95	0,56	79
50	0,72	89	0,85	97	0,61	86
60	0,74	91	0,86	98	0,64	90
70	0,76	94	0,87	99	0,66	93
80	0,78	96	0,88	100	0,69	97
90	0,80	99	0,88	100	0,70	98
100	0,81	100	0,88	100	0,71	100

¹ Справочник по электропотреблению в промышленности. М., «Энергия», 1969. 432с.

Аналогичные соотношения в к. п. д. оборудования при его разной загрузке имеют место и для подъемно-транспортной техники, промышленных печей и т. п.

Расход энергии в системах отопления обуславливается требованиями к температуре воздуха в отапливаемых помещениях, которые определяются в свою очередь существующими гигиеническими и комфортными нормами. Эти нормы не являются, однако, стабильными и зависят от характера поступления тепла в отап-

ливаемое помещение. Так, при применении систем отопления, обеспечивающих поступление тепла лучеиспусканием от нагреваемых устройств, состояние комфорта достигается при значительно более низких температурах в отапливаемых жилых помещениях (16—17°C), чем при применении систем отопления с конвенкционной передачей тепла.

Топливо-энергетические отрасли вместе с электроэнергетикой поглощают около 1/3 всех капиталовложений, направляемых в промышленность, а масса добываемых топливо-энергетических ресурсов приблизилась к 1700 млн. т условного топлива, поэтому проблема рационального использования топлива и энергии и повышения к. п. д. энергоустановок является одной из решающих в деле повышения эффективности общественного производства.

Рассматривая эту проблему с точки зрения электрификации, следует отметить, что электроэнергия является не только самым дорогим, но и самым «энергоемким» энергоносителем. Это видно из следующих данных (рассчитано по [Л. 92]):

	Расход условного топлива на отпуск 1 Гкал энергии, кг
Электроэнергия (современная ГРЭС)	375
Пар и горячая вода:	
ТЭЦ и крупные котельные	160—180
мелкие котельные	200—220
Непосредственно используемое топливо (за вычетом 5—10% потерь при переработке)	150—157

Повышение уровня электрификации народного хозяйства и увеличение доли энергии, используемой в преобразованном виде, действует в сторону повышения средней энергоемкости энергоносителей.

Поэтому, хотя определяющим критерием выбора энергоносителей и уровней электрификации является минимум приведенных затрат на получение сопоставимого потребительского эффекта, по нашему мнению, представляет самостоятельный интерес оценка возможных вариантов развития по общему коэффициенту использования топлива и энергии.

В отличие от к. п. д. генерирующих установок, к. п. д. потребительской электрической аппаратуры во многих случаях выше, чем у неэлектрического оборудо-

вания. Это видно из табл. 8-2, составленной нами по данным многочисленных литературных источников. В ней рассмотрено современное и перспективное значение к. п. д. сравниваемого оборудования, в основном используемого в одном технологическом процессе. Перспективные к. п. д. в этой таблице указаны с учетом возможной рационализации использования энергии у потребителей. Последняя задача заключается в максимальном сокращении энергетических потерь. Ее решение в значительной степени связано с возможностями совершенствования энергопотребляющего оборудования и условиями использования побочных (вторичных) энергоресурсов.

Одним из направлений технического совершенствования энергопотребляющего оборудования является повышение его единичной мощности, которое существенно увеличивает к. п. д. процессов. К. п. д. индукционных сталеплавильных печей меняется следующим образом:

Емкость печи, т	К. п. д. ВЧ устройства	Термический к. п. д. печи	К.п.д. источников питания ВЧ устройства	Суммарный к. п. д.
До 0,01	0,4—0,6	0,5—0,7	0,4—0,6	0,08—0,25
0,1—1,0	0,6—0,7	0,7—0,8	0,6—0,7	0,25—0,4
1,0—10	0,7—0,8	0,8—0,9	0,7—0,8	0,39—0,6
Более 10	0,8—0,85	0,9—0,95	0,8—0,85	0,6—0,7

Задаче использования побочных энергоресурсов посвящено немало исследований [например, Л. 95]. Отметим здесь только, что энергетические потери являются не только технической, но и экономической категорией и зависят также от их характера. Это в обобщенном виде показано в табл. 8-3. В огнетехнических процессах тепло отходящих газов, которое представляет собой значительную часть энергетических потерь, в большинстве случаев использовать технически возможно и экономически целесообразно. В то же время использование тепла получаемых продуктов вызывает, как правило, серьезные затруднения.

Хотя представленные в табл. 8-2 технологии далеко не исчерпывают возможных вариантов использования электрической и других видов энергии, можно сделать некоторые предварительные выводы. Рост к. п. д. наблюдается для большинства как электрических, так и неэлектрических технологий. При этом в силовых процессах можно ожидать в основном рост к. п. д. у электрического оборудования, а в высокотемпературных этот рост значителен в большей мере в огнетехнических процессах. Он связан с широкими возможностями использования побочных энергоресурсов.

Современные и перспективные соотношения к. п. д. электротехнологий и технологий, основанных на использовании других энергоносителей, остаются достаточно стабильными. Это определяется тем, что возможностям увеличения к. п. д. в электротехнологиях противостоят значительные, еще далеко не исчерпанные ресурсы побочной энергии в сравниваемых с ними технологиях. В настоящее время в промышленности используется не более 10% экономически целесообразных для применения побочных энергоресурсов.

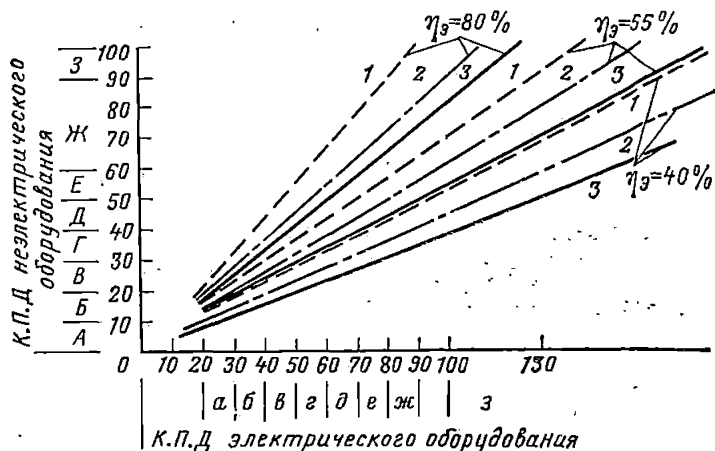


Рис. 8-1. Границы равных к. п. д. электрических и неэлектрических технологий в зависимости от к. п. д. энергопотребляющего оборудования и к. п. д. производства электроэнергии $\eta_{\text{э}}$ на электростанциях.

Границы равных к. п. д. электротехнологий по сравнению с технологиями на топливе прямого использования (1); паре и горячей воде, получаемых от крупных централизованных источников (2) и от децентрализованных источников (3). Зоны с различными наборами технологического оборудования: А — паровые молоты, пневмоинструмент; Б — огневые плиты для приготовления пищи на твердом топливе; В — мартены, отражательные и камерные печи, сушила, карбюраторные двигатели; Г — шахтные печи в цветной металлургии, методические ванны, конвекторы, дизельные двигатели; Д — крупные мартены и вагранки, отражательные печи, обжиговые печи, камерные печи, нагревательные колодцы, компрессоры, водонагреватели на твердом топливе; Е — обжиговые вращающиеся печи, газовые плиты для приготовления пищи; Ж — агрегаты для технологического нагрева материалов паром; З — оборудование для центрального отопления и горячего водоснабжения; а — электроинструмент, электропечи сопротивления; б — электрические прессы, камерные печи; в — ванны, туннельные, камерные печи, а также индукционные печи; г — аккумуляторы, топливные элементы, дуговые и индукционные печи, камерные печи, сушила СВЧ; д — компрессоры, камерные печи, индукционные печи, нагревательные колодцы, плазменные установки; е — индукционные методические печи, обжиговые печи, установки контактного нагрева, нагревательные колодцы, электроплиты для приготовления пищи, агрегаты низкотемпературного нагрева с сопротивлением; ж — индукционные печи, аккумуляционные электроводонагреватели; з — регулируемые приборы электроотопления, тепловые насосы.

К. п. д. неэлектрических и электрических

Вид процесса или технологии	Неэлектрические				
	Вид оборудования	Энергоноситель	К. п. д., %		
			современный	перспективный	рост, %
Силовые стационарные Ковка и штамповка	Паровые молоты	Пар	1—4	1—4	0
Компрессоры для перекачки газов и жидкостей	Компрессоры	Пар	20	50 ^П	150
	То же	Газ	40	45 ^Т	10
Мелкие операции Силовые мобильные	Пневмоинструмент	Воздух	3—10	4—12 ^Т	20—30
Железнодорожный транспорт	Тепловозы	Жидкое топливо	26—28	30—35	15—30
Автотранспорт и мобильные процессы сельскохозяйственного производства	Карбюраторные двигатели	То же	23	25 ^Т	10
	Дизельные двигатели	То же	30	36 ^Т	20
Высокотемпературные Плавка первичная: стали цветных металлов	Мартеновские печи	Газ, мазут	15—20	45 ^П	150—200
	Отражательные печи		20	45 ^П	125
	Шахтные печи (ватержакетные)		20—30	30—35 ^П	15—50
Плавка вторичная на машиностроительных заводах: чугуна стали переплав и выплавка сплавов	Вагранки	Уголь, мазут, кокс	30—35	50 ^{ИП}	45—65
	Мартеновские печи	Газ, мазут	20—25	20—25	0
	Отражательные печи	То же	25—30	25—30	0
	Конверторы	„ „	20	40 ^П	100
Обжиг: клинкера кирпича руды	Вращающиеся печи	„ „	40	60	50
	Кольцевые печи		20—30	40—50 ^П	65—200
			20—30	40—50 ^П	65—100

Таблица 8-2

установок, процессов и технологий

Вид оборудования	Электрические			Соотношение к. п. д.	
	К. п. д., %			современное	перспективное
	современный	перспективный	рост, %		
Прессы	30	40	30	7,5—30	10—40
Компрессоры	60—70	70 ^T	0—15	3—3,5 1,5—1,0	1,4 1,6
Электроринструмент	20	30 ^{TP}	50	2,0—7,0	2,5—7,5
Электровозы	77—80	80—82 ^T	2—5	2,9	2,4
Транкторы и электро- мобили на аккумуляторах	10	60 ^T	500	} 0,3—0,4	2,4
То же на топлив- ных элементах	—	60 ^T			1,6
Дуговые печи	50	55 ^{РУПр}	10	2,5—3,3	1,2
Индукционные печи	40	45 ^{РУПр}	10	2,0—2,7	1,0
Камерные (шах- тные) печи	50	65 ^{РИ}	10	1,5—3,0	1,4—2,5
Дуговые печи	55	55 ^{РУПр}	10	1,8—2,7	1,2—2,2
Плазменные уста- новки	10	70 ^T	600	0,3—0,5	1,5—2,8
Методические печи	60	80 ^{ИУР}	30	2,0—3,0	1,8—3,2
Рудно-термические печи	50—60	60—70 ^{ТИ}	15	2,0—2,5	1,5—2,0
Индукционные печи	60—70	65—75 ^{УПр}	8—10	2,0	1,3—1,5
То же	40—60	80—85 ^{УПр}	40—100	2,0—2,4	3,4—4,0
Дуговые печи	50	55 ^T	10	2,0—2,5	2,2—2,65
Индукционные печи	45—55	55—65 ^{УПр}	17—20	1,8—2,2	2,2
Электропечи	—	70 ^T		—	1,15
Туннельные печи	20	30 ^{TP}	50	0,7—1,0	0,6—0,7
Печи сопротивления	30	50 ^{TP}	65	1,0—1,5	1,0—1,2

Вид процесса или технологии	Неэлектрические				
	Вид оборудования	Энергоноситель	К. п. д., %		
			современный	перспективный	рост, %
Варка стекла	Ванные печи		10—15	20—40 ^П	100—170
Хлебопечение	Камерные печи	Газ	20—40	45 ^П	15—125
Нагрев:					
слитков под прокатку	Нагревательные колодцы	Газ, мазут	30—40	45—60 ^{РП}	50
заготовок под прокатку	Методические печи	Газ, мазут	30—35	40 ^{РП}	15—30
заготовок под ковку и штамповку	Камерные печи	Газ, мазут	15—20	20—30 ^{ПР}	30—50
	Камерные печи безокислительного нагрева	Газ	20—25	25—35 ^П	25—40
Термообработка:					
проката и труб в черной металлургии		Газ, мазут	25	30 ^{РИ}	20
цветных металлов в машиностроении	Камерные печи	Газ	30	45 ^Р	50
	Ванные печи	Газ, мазут	20—30	30—40 ^П	30—50
черных металлов в машиностроении	Проходные печи	Газ, мазут	25—40	30—50	20—25
	Ванные печи	Газ, мазут	20—25	20—40 ^П	100—170
Сушка после окраски	Сушила	Газ	20—25	25 ^Р	0—25
Приготовление пищи	Плиты	Твердое топливо	15	15	0
		Газ	55	55	0
Химические процессы					
получение ацетилена		Газ	30	40 ^Т	30
Низкотемпературные:					
сушка		Пар	70	70	0
выпарка		Пар	80	80	0
нагрев					
технологический		Пар, газ	60	80 ^Р	30
отопление		Горячая вода	100	100	0
плавка низкотемпературная		Пар, топливо	50	60	20

Продолжение табл. 8-2

Вид оборудования	Электрические			Соотношение к. п. д.	
	К. п. д., %			современное	перспективное
	современный	перспективный	рост, %		
Ванные печи с контактным нагревом	45	50 ^Р	10	3,0—4,5	1,2—2,5
Каменные печи	50	60 ^Р	20	1,25—2,5	1,25
Нагревательные колодцы	50—60	60—80 ^{РТИ}	20—30	1,5—1,65	1,3
Печи сопротивления и индукционные	50—60	60—70 ^{УПр}	15—20	1,65	1,5—1,75
Контактные	60—70	65—76 ^{УРПр}	8—10	2,0	1,65—1,75
Печи сопротивления	18—20	20—30 ^Р	10—50	0,8—1,2	0,80—1,0
Индукционные печи	50	55—80 ^{УПр}	10—60	2,0—3,2	2,3—2,7
	40	50 ^{ИР}	25	1,6	1,65
Печи сопротивления	35	50 ^{УПр}	45	1,17—1,75	1,1—1,65
Индукционные печи	50—60	50—70 ^Р	15—20	1,6—3,0	1,35—1,55
Ванные печи	45	50 ^Р	10	1,5—2,25	1,1—1,65
Каменные печи	30	40 ^У	30	0,7—1,2	0,8—2,0
Индукционные печи	60	80 ^{УПр}	30	1,5—3,0	1,6—4,0
Ванные печи	45	50 ^Р	10	1,1—2,25	1,0—2,5
Сушила	45—50	60 ^{ТПР}	20—30	2,0—2,25	2,4
Электроплиты	70	75 ^Т	3	4,7	5,0
Крекинг-аппараты	50	70 ^Т	40	1,65	1,75
Печи сопротивления	70	80 ^Р	15	1,0	1,15
Агрегаты сопротивления	70	80 ^Р	15	0,88	1,0
То же	70	80 ^И	15	1,17	1,0
Печи аккумуляционные	120	130 ^Р	8	1,2	1,3
Печи сопротивления	65	80 ^Р	25	1,30	1,35

Вид процесса или технологии	Неэлектрические				
	Вид оборудования	Энергоноситель	К. п. д., %		
			современный	перспективный	рост, %
Горячая вода для бытовых нужд	Водонагреватель	Газ	70	70	0
	Водонагреватель	Твердое топливо	40	50 ^{ТР}	20
	ТЭЦ		80	90 ^{ТР}	12

Примечание. Факторы роста к. п. д.: У — укрупнение мощности оборудования; совершенствование техники; Р — автоматизация и совершенствование режимов; Пр — совершен

Приведенные данные позволяют установить, в каких случаях замена электроэнергией других энергоносителей не будет сопряжена с перерасходом энергетических ресурсов. С этой целью рассмотрены три случая, когда замыкающими являются: 1) электроэнергия от крупной ГРЭС с к. п. д. 40%; 2) электроэнергия от новых источников (МГД генератора или установки термоядерного синтеза) с к. п. д. 55%; 3) электроэнергия от нового условного источника (например, установка термоядерного синтеза) с к. п. д. 85%. Исходные данные для расчета на перспективу приведены в табл. 8-4. Результаты представлены на рис. 8-1. Из рисунка видно, что с переходом на принципиально новые источники электроэнергии зона ее эффективного использования существенно расширяется.

Среди показателей, определяющих предпочтительность тех или других технологий, важное место занимают капитальные вложения на их создание, включающие стоимость оборудования, его транспорта и монтажа, производственных помещений, санитарно-гигиенического обустройства и др. Они во многом определяют строительную стоимость производственных объектов. В настоящее время трудно установить достаточно четкую зависимость стоимости оборудования от вида потребляемого энергоносителя. Однако очевидно, что чем больше элементов технологий меняется в зависимости от используемого энергоносителя, тем больше

Продолжение табл. 8-2

Вид оборудования	Электрические			Соотношение к. п. д.	
	К. п. д., %			современное	перспективное
	современный	перспективный	рост, %		
АЭВН	75	90 ^И	20	1,08	1,3
				0,95	1,0

П — использование побочных (вторичных) ресурсов; И — усиление теплоизоляции; Т — создание преобразователей тока.

различий в капиталовложениях. Можно также, по-видимому, считать, что сложность технологического электрического оборудования и его стоимость по сравнению с оборудованием, работающим на других энергоносителях, меняется в зависимости от направления использования электроэнергии. При получении низкотемпературного тепла в электрокотельных стоимость оборудования не выше, а во многих случаях существенно ниже стоимости обычных топливных котельных равной мощности. Так, удельные капиталовложения в топливную котельную мощностью 10 Гкал/ч равны на твердом топливе 30—35 руб/(Гкал·ч), на газе 20—25 тыс. руб/(Гкал·ч), а для электрокотельных 8—10 тыс. руб/(Гкал·ч). Стоимость дуговой электросталеплавильной печи примерно равна стоимости мартеновской печи той же производительности. Электроиндукционные установки для плавки металла во многих случаях оказываются в несколько раз дороже, чем вагранки или другие плавильные печи (табл. 8-5).

Следует отметить, впрочем, недостаточную надежность имеющихся данных по стоимости оборудования. Многие исследователи дают существенно различающиеся показатели. Так, например, одинаковые по производительности ваграночные блоки и электропечи иногда приравниваются и по стоимости [Л. 89].

Следует отметить, что даже для одной группы оборудования в зависимости от конструктивных особенно-

Энергетические потери процессов и оборудования

Процессы	Энергоносители	Потери (++++ значительные, + — менее значительные)						
		Механические		Электрические (в сетях, преобразователях и т. д.)	Тепловые			
		трение	ходов		в окружающую среду	с охлаждающей водой	с охлаждающими газами	со шлаками
Силовые Металлорезание Ковка и штамповка Двигатели внутреннего сгорания Транспортеры и краны Пневмоинструмент Высокотемпературные Плавка металлов и обжиг Плавка металлов, нагрев и термобработка: в индукционных печах в дуговых печах в печах сопротивления Варка и нагрев Приготовление пищи Низкотемпературные Нагрев и выпарка Отопление от местных установок	Электроэнергия	++++	+++	+		+	+	
	Пар	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
	Жидкое топливо	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
	Воздух	++++	+++	+		+		
	Топливо	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
	Топливо	++++	+++	+		+		
Низкотемпературные Нагрев и выпарка Отопление от местных установок	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
	Топливо	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
Утечка пара и сжатого воздуха через неплотности арматуры. Физический недожог топлива. Перетопы.	Пар	++++	+++	+		+		
	Топливо	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
Отопление от местных установок	Топливо	++++	+++	+		+		
	Горячая вода	++++	+++	+		+		
	Электроэнергия	++++	+++	+		+		
Прочие	с продук- тами	++++	+++	+		+		
	с охлажда- ющими	++++	+++	+		+		
	с охлажда- ющими	++++	+++	+		+		
Прочие	с охлажда- ющими	++++	+++	+		+		
	с охлажда- ющими	++++	+++	+		+		
	с охлажда- ющими	++++	+++	+		+		

Таблица 8-4

**Перспективные показатели коэффициентов
полезного использования энергии, %**

Показатели	Электроэнергия			Пар и горячая вода		Топливо прямого использования
	Варианты			от ТЭЦ	мелких источников	
	1	2	3			
Потери:						
транспорт топлива	2	2	—	2	1,5	1,5
генерирование топлива в электроэнергию и тепловую энергию	60	45	15	10	25	—
распределение тепла, топлива и электроэнергии	8	9	10	8	4	3
Суммарные потери	64	51	24	19	29	5
Суммарный к. п. и.	36	49	76	81	71	95

стей и мощности стоимость существенно меняется (табл. 8-6).

Удельная стоимость установок сокращается при увеличении их емкости и мощности, т. е. в конечном счете зависит от производительности оборудования. Эта хорошо известная закономерность прослеживается для многих видов оборудования (рис. 8-2 и 8-3). Эффективность применения электроэнергии в термических процессах будет в значительной мере зависеть от того, насколько потенциальные возможности концентрации

Таблица 8-5

**Затраты на плавильное оборудование для
производства чугуна на машиностроительных
заводах¹ (тыс. руб.)**

Оборудование	Производительность оборудования, т/ч	
	6,5—8,5	12,5—17
Индукционные тигельные печи	350	700
Закрытые вагранки с очисткой газов	227	270

¹Юдкин А. К. и Оберман Я. И. Современные плавильные агрегаты для плавки чугуна. Обзор. М., 1973. 73с. (ВНИИЭСМ).

Таблица 8-6

**Ориентировочная средняя стоимость единицы
установленной мощности электротермического
оборудования¹**

Типы печей	Стоимость, руб/кВт
Нагревательные сопротивления	
Периодические:	
шахтные	40—50
камерные механизированные	210—250
вакуумные	80—100
Непрерывного действия, конвейерные	130—160
Плавильные, сопротивления	70—90
Из них для плавки алюминия и его сплавов	20—25
Индукционные	
Тигельные плавильные повышенной частоты	30—40
Открытые нагревательные повышенной частоты	10—12
Вакуумные плавильные непрерывного действия	900—1100

¹Вольфовский Г. С. Определение экономической эффективности нового электротермического оборудования, М., „Энергия“, 1968, с. 68—69.

мощностей электропотребляющего оборудования могут быть осуществимы технически. Так, например, дуговые электросталеплавильные печи в 1929 г. имели емкость

Таблица 8-7

Изменение параметров электропечей¹

Печи	Годы			
	1950	1957	1969—1971	Перспектива
Для плавки, тыс.кВ·А:				
ферросплавов,	8,9	16,5	72,0	100
огнеупоров	0,4	2,8	4,5	
электрокорунда	1,8	7,5	12	
Для возгонки фосфора,	4,2	24,0	48	72—150
тыс.кВ·А				
Для плавки сплавов, т:				
медных		2,5	10	30
алюминиевых	6	6	16	

¹ См. сборники: „По материалам докладов, прочитанных на VI международном конгрессе по электротермии в Брайтоне“ (вып. I, М., Информэлектро, 1959); „Современное состояние электропечестроения“ (по материалам VII международного конгресса по электротермии); Общие вопросы развития электротермии и электропечестроения. (М., Информэлектро, 1975).

8 т, в 1937 г. — до 30 т, а в настоящее время — 200 т (в США есть печи 400 т и проектируются электростале-плавильные агрегаты емкостью 800 т). Если удельную стоимость оборудования дуговых сталеплавильных печей емкостью 10—12 т принять за 100%, то при емкости этих печей в 25 т она составляет уже 70%, а при емкости 200 т — 28%. Значительно возрастают мощности и емкости и других электропечей, что служит основой для снижения их стоимости (табл. 8-7).

Для стоимости оборудования, как известно, большое значение имеют масштабы его производства.

В проектной практике для учета возможностей снижения стоимости оборудования при переходе от мелкосерийного производства к крупному рекомендуется использование следующей формулы:

$$S_2 = \frac{S_1}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^a}, \quad (8-2)$$

где S_1 — стоимость изготовления оборудования при мелкосерийном производстве; S_2 — его стоимость при крупной серии; n_1 и n_2 — соответственно объемы производства; a — эмпирический коэффициент: $a=0,1 \div 0,3$. При постоянном коэффициенте a прогнозная стоимость прямо пропорциональна первоначальной и уменьшается с ростом соотношения между прогнозным и начальным выпуском продукции.

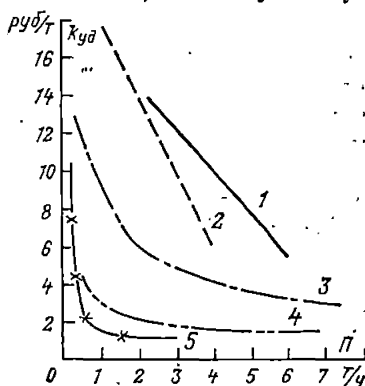


Рис. 8-2. Зависимость удельных капиталовложений нагревательных установок от их производительности Π (по данным [Л. 47]).

1 — индукционные электропечи одночастотные; 2 — индукционные печи двухчастотные; 3 — огневые печи с выдвигным подом; 4 — огневые методические печи; 5 — огневые камерные печи.

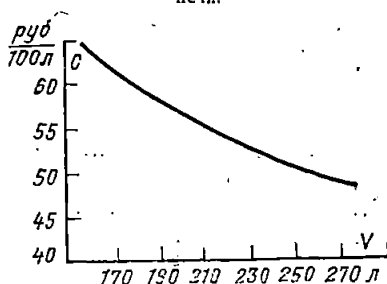


Рис. 8-3. Зависимость себестоимости C производства квартирных аккумуляционных электроводонагревателей от их единичной емкости V .

Другой показатель, который должен учитываться при выборе технологий и энергоносителей — качество продукции и материалоемкость процесса. Рост качества продукции экономически эквивалентен увеличению ее количества, однако требует дополнительных затрат труда, увеличения материалов, фондов и т. п. При применении электротехнологий эти дополнительные затраты могут быть существенно сокращены. Это определяется способностью электроэнергии к более точному регулированию процесса, ее меньшей избирательностью (требовательностью) по отношению к исходному сырью, воз-

Таблица 8-8

Эффективность плавки 1 т цветных металлов в индукционных печах (на примере литейных сплавов на медной основе)

Показатели	Индукционная электропечь	Пламенная отражательная печь
Удельный расход: электроэнергии, кВт·ч	450	—
мазута, кг	—	175
Угар металлической шихты, %	1	6
Приведенные затраты (без учета угара), руб.	12,1	10,4
Стоимость теряемого металла при 550 руб/т, руб.	5,5	33,0
Приведенные затраты с учетом угара, руб.	17,6	43,4

можностью обеспечения более глубокой переработки материалов. Широкое применение электроэнергии в термических процессах черной и цветной металлургии и машиностроения, как правило, обеспечивает рост качества продукции. Так, плавка цветных металлов и их сплавов в индукционных печах дает снижение угара металла в несколько раз, что при его высокой стоимости окупает все перерасходы, связанные с применением электроэнергии (табл. 8-8). Применение электроэнергии для плавки полиметаллических руд обеспечивает увеличение выхода ценных компонентов, таких как кобальт, кадмий, германий и т. п. При этом достигается большая чистота основных продуктов. Рафинирование цветных металлов, например меди, обеспечивающее выход продукции с чистотой 99% и выше, осуществляется почти только на электрических установках. В плавке черных

Таблица 8-9

**Дополнительная продуктивность животноводства
при использовании вместо обогрева ферм от
котельных и теплопарогенераторов электроэнергии
для создания микроклимата¹**

Типы ферм	Дополнительная продуктивность, %		
	Сохранность молодняка	Привесы, яйценоскость	Расходы кормов
Свинарник-маточник	+8	+3	
Свинарник-откормочник		+6	—7
Фермы кур-несушек	+4	+8	—9
Телятники	Нет данных	+13	Нет данных

¹ Исследования проведены под руководством канд. техн. наук Е. В. Соколовского л. 79].

металлов (литейного чугуна на машиностроительных заводах) и стали применение электроэнергии позволяет получить металлы высокого качества. Поэтому практически все высоколегированные стали производят в электропечах.

Более высокое качество металла, получаемого электроплавкой, по сравнению с металлом, выплавленным в пламенных установках, в расчетах эффективности учитывается с помощью специального коэффициента.

Приведенные затраты на 1 т годных отливок на плавку чугуна в вагранках составляют 80—100 руб., а в индукционных печах 60—70 руб., при этом выход годного литья составляет соответственно 78 и 81%, а угар 5,6 и 2%.

Улучшение качества при электроплавке снижает затраты на 1 т годных отливок на 20%, т. е. примерно до 50 руб/т*. Разница в затратах обеспечивает окупаемость капиталовложений в электропечи не позже чем за 5 лет. В результате может оказаться эффективным не только применение электроплавки для прироста производства чугунных отливок, но и замены действующих вагранок индукционными электропечами.

При термообработке качество металлов улучшается, а долговечность изделий возрастает на 30% и более. Поэтому целесообразно идти на применение электро-

* С учетом этого фактора индукционная плавка может быть более дешевой даже при сохранении дорогой ваграночной шихты.

энергии, при которой качество термообработки выше. Можно привести много примеров улучшения качества продукции или услуг при применении электротехнологии. В частности, регулирование микроклимата, возможное при использовании электроэнергии для обогрева животноводческих помещений, благоприятно воздействует на рост домашних животных, повышает выход и улучшает качество продукции, снижает расход кормов (табл. 8-9).

Таблица 8-10

Трудоемкость некоторых процессов (по материалам проектных организаций), чел-ч/т

Процесс	Электроэнергия	Другие энергоносители
Плавка чугуна в машиностроении	Индукционная электропечь 0,5	Вагранка 0,9
Плавка цветных металлов в машиностроении	Индукционная электропечь 0,7	Отражательная печь 2,7
Нагрев заготовок под ковку и штамповку	Индукционная установка 3,0	Пламенная печь 3,4
Термообработка металла (закалка)	Индукционная установка 2,0	Пламенная печь 2,5
Сушка хлопчатобумажных тканей	Электросушилка 2,5	Паровая сушилка 3,7
Выпечка батонов	Электропечь 1,5	Газовая печь 2,0
Горячее водоснабжение и отопление (на 1 квартиру)	АЭП и АЭВН* 5	Мелкие котельные от 15—20 на газе, до 40—90 на угле

* Аккумуляционные электропечь и электроводонагреватель.

Технологический эффект от использования электроэнергии должен быть полностью учтен при выборе энергоносителей. Одним из особых его видов является сокращение затрат труда на эксплуатацию энергопотребляющих установок. Некоторые примеры видны из табл. 8-10.

Представляет интерес полная трудоемкость различных схем энергоснабжения, т. е. с учетом затрат труда на добычу топлива, его транспорт, производство энергии и ее распределение. Нами была проведена ориенти-

ровочная оценка полной трудоемкости получения энергоносителей. Учтены затраты труда на добычу и транспорт топлива, получение электроэнергии (на электростанциях мощностью 2400 тыс. кВт с агрегатами по 300 тыс. кВт) и ее транспорт. Она сравнивалась с использованием угля как замыкающего энергоресурса (калорийность угля в среднем принята 5500 ккал/кг). В расчетах условно была выбрана следующая транспортная схема (табл. 8-11).

Таблица 8-11

Расстояния перевозки топлива и передачи электроэнергии (км)

Транспорт топлива или энергии	Объекты		
	крупные предприятия	мелкие предприятия, сельскохозяйственные и бытовые потребители	электростанции
По железной дороге	800	820	600
В том числе маршрутными перевозками	700	700	600
Распределение автотранспортом	—	40	—
Распределение электроэнергии	200	240	—
В том числе по напряжениям:			
500 кВ	130	130	—
220 кВ	70	60	—
110 кВ	—	30	—
10 кВ	—	20	—
0,4 кВ	—	0,7	—

Результаты расчетов представлены в табл. 8-12. С учетом к. п. д. электростанций 40%, и котельных 70—75% и числа часов работы энергопотребляющих установок средняя трудоемкость подведенной к установке энергии составит (чел/1000 Гкал):

Крупные промышленные предприятия Прочие потребители

При участии потребителя в формировании максимума электрической нагрузки . . .	0,7—0,75	1,1—1,15
Для внепиковой электроэнергии (только топливная составляющая)	0,35—0,40	0,35—0,40
При использовании котельных	0,30—0,40	1,3—1,40
Топливо прямого использования	0,15—0,20	0,3—0,35

Ориентировочная трудоемкость производства и транспорта энергии до потребителя

Показатели	Крупные промышленные предприятия				Мелкие промышленные предприятия, сельскохозяйственные и бытовые потребители		
	электроэнергия	пар и горячая вода	топливо промышленного использования	топливо бытового использования	электроэнергия	пар и горячая вода	топливо бытового использования
Добыча угля ¹ , чел/1000 т условного топлива	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Железнодорожный транспорт:							
маршрутный ¹ , чел/1000 т условного топлива	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
немаршрутный ² , чел/1000 т условного топлива		0,1	0,1	0,1		0,1	0,1
Автотранспорт угля ¹ , чел/1000 т условного топлива						0,3	0,6
Хранение, погрузка, и разгрузка угля ³ , чел/1000 т условного топлива		0,15	0,25	0,25		0,15	0,25
Электрические станции ³ , чел/МВт	1,0				1,0		
Котельные и тепловые сети ³ , чел/Гкал-ч		1,0				3,0	
Линии электропередачи ³ , чел/МВт	0,15				0,7		

¹ По данным статистического ежегодника «Народное хозяйство СССР в 1973 г. М., «Статистика», 1974, 880 с.² Принята трудоемкость вдвое большая, чем по маршрутным перевозкам.³ По проектным данным, в том числе института «Энергосетьпроект».

Как видно, для крупных потребителей при заданных условиях трудоемкость электрических схем оказывается значительно выше трудоемкости схем с котельными или прямого использования топлива. Для мелких потребителей трудоемкость электрических схем несколько ниже, чем схем с котельными, но выше по сравнению с прямым использованием топлива. При использовании внепиковой энергии трудоемкость электрических схем для крупных промышленных предприятий близка к трудоемкости при схеме с котельными, а для прочих потребителей — трудоемкости схем при прямом использовании топлива. На единицу полезного эффекта различия в полной трудоемкости в пользу электровариантов будут тем больше, чем выше к. п. д. электрического оборудования по отношению к к. п. д. оборудования, использующего другие энергоносители. Некоторые примеры проведенного нами расчета полной трудоемкости вариантов с учетом энергоемкости энергопотребляющих установок приведены в табл. 8-13.

Таблица 8-1

Показатели полной трудоемкости в некоторых технологических процессах (чел-ч/т)

Процессы	Электроэнергия	Другие энергоносители
Плавка чугуна в машиностроении	1,3	1,3
Плавка цветных металлов	1,2	3,1
Нагрев заготовок под ковку и штамповку	3	3,4
Термообработка металла	2,2	2,9—3,0
Сушка хлопчатобумажных тканей	4,2—4,3	6,2—6,4
Выпечка хлеба	1,5	2,0
Горячее водоснабжение и отопление (на I квартиру)	15	От 25—30 до 50—100

Примечание. Типы установок приведены в табл. 8-10.

При существенных различиях в трудоемкости сравниваемых вариантов важное значение приобретает правильный учет полных затрат труда. В этой связи можно сделать два замечания. Во-первых, в существующей проектной практике далеко не всегда учитывается увеличение стоимости воспроизводства рабочей силы в СССР. При сопоставлении вариантов число занятых на обслуживании правильно учитывается исходя из будущей трудоемкости оборудования и роста производи-

тельности труда в перспективном периоде. Вместе с тем величина заработной платы из-за недостатка исходных данных почти всегда принимается по ее современному уровню, тогда как она должна увеличиваться вслед за ростом производительности труда. Так, по данным статистических ежегодников [Л. 68—71] производительность общественного труда и среднемесячная зарплата рабочих и служащих по народному хозяйству (включая сферу нематериального производства) в период 1960—1974 г. изменялись следующим образом:

	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1974 г.
Рост производительности общественного труда, %	100	129	176	211
Зарботная плата, руб. в месяц	80,6	96,5	122,0	141,1
То же %	100	119	151	175

В целом с 1950 по 1975 г. среднемесячная заработная плата рабочих и служащих в народном хозяйстве возросла в 2,3 раза, увеличиваясь на 3,4% в год. В десятом пятилетии она увеличится еще на 16—18%, т. е. на 3—3,4% в год и достигнет не менее 170 руб. в месяц, или 2000 руб. в год. Разумеется, недоучет характерных для СССР высоких темпов роста заработной платы, отражающих увеличение благосостояния трудящихся, может привести к ошибкам. Так, например, согласно ряду действующих инструкций заработная плата персонала, обслуживающего котельные, в проектных расчетах должна учитываться в размере 1200 руб. на 1 чел. в год. Это примерно соответствует современным ставкам. Если считать, что темпы роста заработной платы, установленные для пятилетия, не изменятся в перспективе, то уже при проектных сопоставлениях для 1990 г. нужно было бы учитывать ставку заработной платы в размере 1900—1950 руб.

При относительно стабильной стоимости электроэнергии увеличение стоимости воспроизводства рабочей силы существенно меняет соотношение между стоимостью 1 кВт·ч и зарплатой за 1 чел·ч труда. Его динамика для средних условий может быть проиллюстрирована данными табл. 8-14.

Второе замечание касается оценки различий в полной трудоемкости сравниваемых вариантов с учетом нарастающего дефицита рабочей силы в СССР и ограниченных возможностей ее воспроизводства. Нарастающий

дефицит рабочей силы в СССР был отмечен на XXIV съезде применительно к пятилетке 1971—1975 гг. и особенно подчеркнут на XXV съезде для условий 80-х годов.

Таблица 8-14

Изменения соотношений между затратами на 1 кВт·ч электроэнергии и зарплатой за 1 чел·ч труда рабочих и служащих в народном хозяйстве

Показатели	Годы		
	1975	1980	1985
Замыкающие затраты на электроэнергию, коп/кВт·ч	1,3	1,2	1,1
Среднегодовая зарплата трудящихся (условно исходя из темпов роста 3,2% в год), руб.	1750	2050	2400
То же за 1 чел·ч (при рабочем времени 1800 ч в год), коп.	97	114	133
Соотношение между стоимостью 1 кВт·ч и зарплатой за 1 чел·ч, %	1,34	1,05	0,83
Количество электроэнергии, эквивалентное по стоимости годовой заработной плате трудящихся, МВт·ч	135	161	218

Этот дефицит, по нашему мнению, можно было бы учитывать в виде эффекта, получаемого за счет прибавочного продукта, который могли бы произвести трудящиеся, высвобожденные в результате внедрения нетрудоемких вариантов развития, в том числе электротехнологий (при условии использования высвобождаемых трудящихся в других сферах производства) ¹.

Характерно, что учет дефицита трудовых ресурсов получил распространение в хозяйственной практике, прежде всего в сельскохозяйственном производстве, где около 15% всех трудящихся занято в системах тепло- и топливоснабжения. Одним из путей сокращения занятых в этой сфере является начавшийся перевод систем теплоснабжения в колхозах и совхозах на малотрудоемкие, не требующие специального обслуживания электрокотельные. За этот

¹ Принципиально этому дополнительному эффекту должны противостоят затраты, необходимые для создания рабочих мест трудящимися, высвобождаемым в результате электрификации. Однако при низкой сменности промышленности в СССР эти затраты до некоторых пределов использования действующих фондов могут не производиться. По имеющимся данным в настоящее время народное хозяйство СССР в пределах двухсменной загрузки рабочих мест могло бы поглотить дополнительно около 36 млн. трудящихся [см. Л. 116].

счет сельскохозяйственные предприятия увеличивают ресурсы рабочей силы, занятые непосредственно в сельскохозяйственном производстве, а дополнительные затраты на создание и эксплуатацию электродвигателей окупаются увеличением прибыли колхозов и совхозов непосредственно в животноводстве и земледелии. Следует учитывать, что по всем другим показателям внедрение электродвигателей, как правило, неэффективно. Поэтому вопрос о рационализации трудоемкой системы энергоснабжения сельских районов требует специального рассмотрения, а использование электроэнергии для этой цели должно обосновываться по совокупности экономических условий.

Учет дополнительного эффекта может изменить результаты сопоставлений вариантов. В настоящее время соотношение между заработной платой v и прибавочным продуктом m в сфере материального производства составляет 1:1,6¹. С учетом эффекта от высвобождения трудящихся, рассчитанного по этим соотношениям, приведенные затраты, например, на выпечку 1 т хлеба, составляют (затраты по печам на жидком топливе приняты за 100%), %:

	Для Централь- ных районов СССР	Для Восточ- ной Сибири
С учетом эффекта:		
печь на жидком топливе	100	100
электропечь	90	80
Без учета эффекта:		
печь на жидком топливе	100	100
электропечь	110	100

Следует отметить, что правомочность такого учета дефицита рабочей силы является дискуссионной и этот вопрос требует особого исследования.

В целом можно выделить следующие основные группы показателей, совокупность которых характеризует экономическую сторону технологий и экономику использования энергоносителей:

1. Капитальные затраты на создание технологий и эксплуатационные издержки, зависящие от величины этих затрат (амортизация, затраты на ремонт).

2. Сырьевая составляющая, зависящая от материалоемкости процесса и удельной оценки сырьевых ресурсов.

3. Энергетическая составляющая, зависящая от энергетического к. п. д. процесса и удельной экономической оценки энергоносителей.

¹ Кац А. И. Динамический экономический оптимум. М., «Экономика», 1970.

4. Составляющая живого труда, которая в свою очередь является функцией трудоемкости процесса и ставкой заработной платы в народном хозяйстве.

Анализ показателей около 70 технологий народного хозяйства позволил выявить следующие характерные структуры приведенных затрат по указанным составляющим (табл. 8-15).

С точки зрения выбора перспективной структуры технологии и энергоносителей важен анализ факторов, воздействующих на динамику составляющих приведенных затрат. По отношению к технологиям общественного производства показатели и факторы могут быть условно разделены на общие (внешние) и частные (внутренние). К первой группе принадлежат: изменения экономических оценок на производство и транспорт энергоносителей, рост заработной платы, — совокупно и односторонне действующие на изменение показателей всех технологий народного хозяйства. Ко второй группе относятся показатели и факторы, изменение которых происходит индивидуально для каждой технологии в зависимости от путей развития их аппаратного оформления и может быть разнонаправленным. Это капиталовложения, материалоемкость процессов, их трудоемкость с учетом редукции труда, энергетический к. п. д. оборудования и процессов. Применительно к рассматриваемому вопросу к этой же группе можно условно отнести изменение оценок на сырье, которое в зависимости от вида последнего по-разному воздействует на показатели различных технологий.

Были рассмотрены основные тенденции возможных изменений важнейших факторов и показателей альтернативных технологий.

Выявлено, что «электрические» технологии, как правило, более энергоемки и капиталоемки и доля соответствующих составляющих в приведенных затратах у них выше по сравнению с технологиями, использующими другие энергоносители, однако они обеспечивают лучшее использование сырья, а в ряде случаев абсолютное и относительное снижение затрат живого труда.

Поэтому, например, увеличение стоимости сырья и рост заработной платы принципиально связаны с усилением позиций электрических технологий в общей технологической структуре общественного производства.

Пример группировки технологий по структуре приведенных затрат (в их изменяющейся части)

Группы технологий и процессов	Доля отдельных типов затрат, в %					Примеры технологий и процессов
	К	С	Э	Т		
Плавильные процессы с высоким удельным весом сырьевой и низким энергетической составляющей	10—30	50	10—30	10		Плавка свинцово-цинковых руд, мартеновская плавка, ваграночная плавка, плазменный и электрошлаковый переплав, плавка цветных металлов в машиностроении
Плавильные процессы с высоким удельным весом сырьевой и энергетической составляющей	10—30	30—50	30—50	10		Доменная и конверторная плавка, бездомненное производство металла, электроплавка цветных металлов в машиностроении
Нагревательные и обжиговые процессы со средним удельным весом сырьевой составляющей	30—50	10—30	30—50	10		Нагрев труб перед прокаткой, производство цемента
Нагревательные процессы с низким удельным весом сырьевой составляющей и высоким энергетической	30—50	10	30	10		Выпечка хлеба, приготовление пищи, варка целлюлозы, сушка литейных стержней, сушка бумаги
Низко- и среднетемпературные процессы с небольшой долей энергетической составляющей	50	10	30	30		Пропарка железобетонных изделий
Силовые процессы с низкой долей энергетической составляющей, трудоемкие	30	10	10	50		Вспомогательные работы в промышленности
То же относительно негрудоемкие	50	10	10—30	10—30		Автогранпорг, электрофизикохимические методы в машиностроении

Примечание. К — отчисления от капиталоуложений, амортизация и ремонт; С — сырьевая составляющая в изменяющейся части затрат; Э — энергетическая составляющая; Т — составляющая живого труда.

Изменение соотношений приведенных затрат в альтернативные технологии при повышении оценок на качественное топливо

Технологическая операция или процесс	Приведенные затраты, %					Увеличение расхода электроэнергии при переходе на электротехнологию, кВт·ч
	электро-техно-логия	Технология с использованием качественного топлива				
		при его базовой стоимости	при увеличении стоимости	в 1,5 раза	в 2,5 раза	
Нагрев труб перед прокаткой (на 1 т)	100	102	117	132	146	400
Нагрев металла под ковку и штамповку (на 1 т)	100	95—100	100—105	105—109	100—113	500
Сушка бумаги (на 1 т)	100	94	97	100	103	140
Сушка тканей после отделки (на 1000 м²)	100	99	100	101	102	800
Выпечка хлеба (на 1 т)	100	90	100	109	118	250
Горячее водоснабжение (на 1 квартиру)	100	87—78	106—95	125—111	143—128	3000—4000
Отопление в южных районах тепловыми насосами (на 1 квартиру)	100	88	98	107	115	1000
Приготовление пищи (на 1 квартиру)	100	65	70	77	82	1100

Это особенно относится к емким по сырью и по труду отраслям народного хозяйства.

Повышение оценок на качественное топливо тоже действует в сторону повышения уровня электрификации.

Если условно принять, что замыкающие затраты на уголь и, следовательно, электроэнергию, получаемую на базе замыкающих электробаланс угольных электростанций, останутся в СССР на современном уровне, а замыкающие затраты на нефть и газ возрастут против значений, рекомендуемых для технико-экономических расчетов в официальных материалах [Л. 92], то соотношение приведенных затрат на получение продукции или услуг в различных альтернативных технологиях изменится, по нашим расчетам, так, как указано в табл. 8-16.

Возрастающая ценность качественного топлива определяет целесообразность его максимального вытеснения даже в случае, если его экономия в энергетическом эквиваленте будет меньше расхода топлива на выработку заменяющей электроэнергии.

В целом по нашим оценкам даже по современному объему общего потребления топливно-энергетических ресурсов СССР эффективно было бы вытеснение качественного топлива из фактических и потенциальных сфер его применения (в пределах возможной технологической взаимозаменяемости энергоносителей) в размере, эквивалентном примерно 100 млрд. кВт·ч электроэнергии.

Однако повышение уровня электрификации за этот счет будет зависеть не только от оценок на топливо, но и от возможностей перестройки потребительских технологий во времени.

8-2. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Важную роль играют социальные факторы при решении вопроса о выборе энергоносителей и технологических способов производства. Электроэнергия имеет большое значение в решении таких важных социальных задач как преобразование условий труда; повышение уровня организации и улучшение условий быта населения; улучшение экологической обстановки. Можно условно различать две формы воздействия электротехнологий на решение этих проблем: активную, когда в результате использования электроэнергии и изменения технологической структуры производства преобразуют-

ся условия труда и жизни людей; и пассивную, когда при использовании электроэнергии ее высокие гигиенические качества дают побочный эффект в виде улучшения окружающей человека среды и служат дополнительным стимулом электрификации тех или иных процессов. Практически обе эти формы неотделимы друг от друга, как неотделимы друг от друга экономические и социальные последствия электрификации. В этой связи следует отметить, что облегчение труда и улучшение условий жизни людей с общественной точки зрения являются экономически эффективными: они приводят к повышению производительности труда работников, увеличению продолжительности трудового периода, сокращают затраты на воспроизводство рабочей силы. С другой стороны, улучшение условий труда и быта людей отвечает требованиям основного экономического закона социализма и может считаться эффективным с социальной точки зрения, независимо от того, сопровождается оно прямыми экономическими выгодами или нет. Однако в связи с тем что возможности общества в области улучшения условий труда и быта людей неограничены, очередность мероприятий учитывает и их экономический эффект.

Наиболее важным является осуществление механизации вспомогательных работ в промышленности и основных трудоемких работ в сельскохозяйственном производстве, что резко облегчает труд работающих. Большое социальное значение имеет облегчение труда и повышение его производительности в домашнем хозяйстве, затраты времени на которое в настоящее время соразмерны затратам времени в общественном производстве. Физиологические исследования, проведенные, в частности, в Ленинградском политехническом институте, показали, что энергетические затраты, например, при ручной стирке равноценны энергетическим затратам промышленного рабочего, занятого физическим трудом средней тяжести. Сокращение этих затрат — социальная проблема, обеспечивающая увеличение фонда свободного времени трудящихся. Анализ показывает, что применение приборов хозяйственного назначения (холодильника, пылесоса, электроутюга, стиральной машины) может обеспечить механизацию домашних работ и ликвидацию их тяжелых видов и позволяет на 1,5—2 ч в день сократить затраты труда на самообслуживание.

живание. В масштабе всей страны это соответствует экономии 30—45 млрд. чел.-ч труда в год. На 1 кВт-ч, затраченный в электробытовых приборах хозяйственного назначения, экономия затрат труда составляет около 1 ч.

В перспективе масштабы и уровни электрификации в большой степени будут связаны с решением задач улучшения условий труда и жизни людей. Этому будет способствовать сначала частичная, а потом и комплексная автоматизация производства, которая становится, как уже говорилось, не только фактором повышения производительности труда, но и фактором его облегчения. Проблема развития автоматизации в промышленности, сельском хозяйстве и других сферах производства материальных благ и услуг далеко выходит за рамки настоящей книги. Отметим только, что социальные последствия автоматизации особенно велики: на ее основе или с ее помощью может быть осуществлена ликвидация ряда социальных различий в социалистическом обществе: между характером труда в промышленности и сельском хозяйстве, между физическим и умственным трудом, наконец, ликвидация социальных различий между людьми в процессе производства. В решении этих задач участвует также разветвленная система связи и информации, которая создается на базе слаботочной техники и технологии и представляет особое направление электрификации народного хозяйства¹. Важное значение имеет также создание комфортных, прежде всего полноценных санитарно-гигиенических условий на производственных предприятиях, в жилищах и общественных зданиях, полностью отвечающих современным требованиям условий труда и быта. Речь идет прежде всего о температурно-влажностных характеристиках, а также о чистоте воздуха и его газовом составе в производственных и гражданских зданиях.

Использование электроэнергии в технологических процессах производства является мощным фактором улучшения гигиенической обстановки в промышленных зданиях и должно, поэтому, учитываться при выборе технологий и в технико-экономических расчетах. С другой стороны, поскольку замена электроэнергией других

¹ Некоторые исследователи, например докт. эконом. наук М. А. Виленский, склонны выделять управляющие устройства в самостоятельный функциональный элемент производства [Л. 20].

энергонасителей не всегда экономически и технологически возможна, важно применять системы искусственного поддержания требуемых гигиенических параметров атмосферы. Именно этим определяется опережающий рост потребления электроэнергии для нужд вентиляции промышленных и общественных зданий. По нашей оценке расход электроэнергии на привод вентиляторов промышленных зданий составляет сегодня уже до 10% всего потребления электроэнергии на нужды промышленности. Однако во многих случаях вентиляционные системы не могут поддерживать необходимые параметры воздушной среды. Для обеспечения современных требований гигиены труда в ряде отраслей промышленности необходимо создание систем комфортного кондиционирования воздуха¹. Эти системы настоятельно необходимы, например, в ряде горячих цехов машиностроительных и металлургических заводов, некоторых химических цехах, глубоких шахтах и т. п.

Системы промышленного кондиционирования воздуха независимо от применяемых в них энергоносителей весьма дороги. В настоящее время затраты на сооружение систем вентиляции и кондиционирования воздуха составляют до 5—6% стоимости промышленного предприятия. Для размещения такого оборудования требуется до 25% площади, которую они обслуживают. Стоимость обслуживаемой площади производственных зданий составляет до 180% стоимости самих кондиционеров. При этом стоимость холода, получаемого от холодильной установки, достигает 20—25%, и большее от полной стоимости системы кондиционирования воздуха. Годовые эксплуатационные издержки в расчетных вариантах составляют до 40% капитальных затрат [Л. 104].

Исследование целесообразности и эффективности применения электроэнергии для нужд кондиционирования воздуха представляет собой сложную проблему, требующую учета многообразных климатических, технических и гигиенических факторов.

¹ В отличие от так называемого технологического кондиционирования, создаваемого при невозможности получения в обычных условиях продукции стандартного качества и получающего распространение в отраслях точного машиностроения, электроники, тонкого органического синтеза, в ряде цехов текстильной промышленности и производства химического волокна, в полиграфической промышленности и т. п.

В США применение кондиционирования воздуха в промышленности считается экономически оправданным, если имеются два из следующих четырех условий независимо от климатической характеристики места, где расположено промышленное предприятие: величина производственной площади составляет менее 28 м^2 на 1 работающего, величина годового фонда заработной платы более 270 долларов на 1 м^2 кондиционируемой площади. Она определена из условия, что кондиционирование воздуха окупается при соотношении между стоимостью его устройства и годовой зарплатой 1:10; текучесть рабочей силы составляет более 15% в год (системы кондиционирования воздуха выступают в качестве фактора борьбы с текучестью рабочей силы); отношение зарплаты к себестоимости продукции составляет 25%, и выше.

По нашим грубым оценкам кондиционирование воздуха может экономически окупаться в промышленных цехах, площадь которых составляет 16% всей площади промышленных зданий, в том числе во всех бесфонарных зданиях и зданиях с подвесными потолками. Оно окупается также на всех промышленных предприятиях в IV и V климатических зонах с числом жарких дней в году более 100 и среднесуточной июльской температурой 23°C и выше. С учетом этого общая площадь промышленных зданий, которые потенциально могли бы быть оборудованы кондиционированием воздуха, составит около 30%.

Повышение экономической эффективности систем кондиционирования воздуха связано, по нашему мнению, во-первых, с организацией серийного специализированного производства оборудования, и, во-вторых, с более обоснованным выбором энергоносителей и технологий для производства холода. Здесь уместно отметить, что необходимо дальнейшее совершенствование более дорогих фреоновых установок и доведение коэффициента преобразования энергии на базе использования отбросного тепла промышленных предприятий до 3—5. Это позволит значительно снизить расход электроэнергии. Создание крупных полупроводниковых холодильных машин способно обеспечить еще более высокие коэффициенты преобразования.

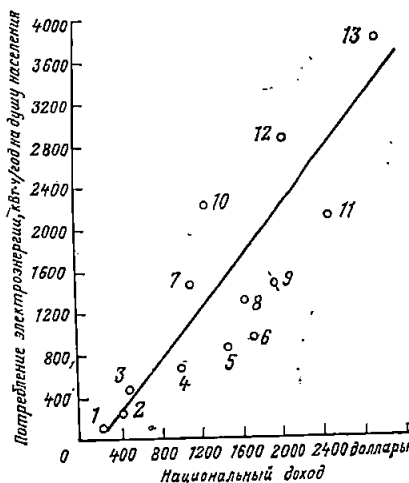
Среди факторов, которые будут способствовать росту уровня электрификации быта, ведущее место занима-

ет неуклонный рост благосостояния трудящихся. По мере его роста структура потребностей населения меняется, а в потребительском бюджете возрастает доля расходов, идущих на приобретение товаров длительного пользования, и, особенно, оплату услуг.

Можно установить зависимости между национальным доходом на душу населения и уровнем потребления

Рис. 8-4. Зависимость потребления электроэнергии в быту и сфере обслуживания (включая сельское хозяйство) от величины национального дохода на душу населения в ряде капиталистических стран.

1 — Турция; 2 — Португалия; 3 — Греция; 4 — Италия; 5 — Бельгия; 6 — Франция; 7 — Финляндия; 8 — Нидерланды; 9 — ФРГ; 10 — Великобритания; 11 — Швейцария; 12 — Швеция; 13 — США.



электроэнергии в быту, между долей расходов на питание в общей структуре потребительских расходов и уровнем потребления электроэнергии (рис. 8-4) ¹.

Группа экспертов ² дала высокую оценку значению роста уровня жизни и увеличивающимся требованиям населения к комфорту как факторам, определяющим массовое применение электроэнергии для низкотемпературных процессов быта. Оценка факторов увеличения уровня электрификации низкотемпературных процессов

¹ Коэффициент корреляции между этими показателями по 13 странам составил 0,79.

² Они были привлечены в 1972 г. институтом «Энергосетьпроект» к участию в определении перспектив электрификации быта в СССР.

в быту производилась по 10-балльной шкале:

Общий рост уровня жизни и увеличение требований к комфорту	7,2
Снижение приведенных затрат на электроэнергию	7,1
Рост производства электроотопительных приборов и оборудования	5,8
Необходимость заполнения провалов графика электрической нагрузки	5,7
Снижение тарифов на ночную энергию	5,6
Рост обеспеченности жилой площадью	3,4

Высокую оценку получил также рост требований к комфорту на проходившем в Праге в сентябре 1966 г. международном симпозиуме по проблеме оптимальных экономических условий теплоснабжения крупных жилищных комплексов¹. Как отметил один из выступавших, «стремление к комфорту — мощный двигатель без обратного хода».

Если условно принять, что в перспективе, соответствующей, например, утроению по сравнению с уровнем 1970 г. производства национального дохода на душу населения, рост личных доходов будет пропорционален увеличению национального дохода страны, а доля услуг в структуре потребительского бюджета семьи увеличится по сравнению с тем же 1970 г. также в 3 раза, то даже при неизменной доле расходов на электроэнергию в структуре всех расходов на услуги возможности населения по оплате электроэнергии возрастут в 9 раз по сравнению с современным уровнем. В 1970 г. внутриквартирное потребление электроэнергии в среднем на одного городского и сельского жителя составляло в СССР около 170 кВт·ч в год, или 600 кВт·ч в год в расчете на среднюю семью при коэффициенте семейности 3,5 человека. При действующем тарифе на электроэнергию для бытовых целей в размере 4 коп. за 1 кВт·ч средняя плата за электроэнергию составила соответственно 24—25 руб. в год. На расчетном уровне такая семья сможет, исходя из принятых условий, платить за электроэнергию 200—220 руб. в год. Сравнение этого «платежеспособного потенциала» со стоимостью электроэнергии, необходимой для полной электрификации отдельных процессов, приведено в табл. 8-17.

¹ Симпозиум по проблеме оптимальных экономических условий теплоснабжения крупных жилищных комплексов. Доклад секретариата, т. II. Прага, 26—30 сентября 1966.

Оплата электроэнергии для бытовых процессов

Наименование процессов	Расход электроэнергии, кВт·ч в год на семью	Оплата электроэнергии, принятая по величине приведенных затрат (франко-потребитель) для данной схемы электроснабжения		
		коп/(кВт·ч)	Всего	
			руб/на семью в год	% к платежеспособному потенциалу
Обеспечение семьи комплексом электробытовых приборов	1400	4	56	25—28
Перевод на электроэнергию процессов приготовления пищи	900	2—3	18—27	9—12
Применение электроэнергии для получения горячей воды (аккумуляционные системы)	4000	1	40	19—20
Применение электроэнергии для отопления:				
аккумуляционные системы	12 000—14 000	1,3—1,9	156—270	70—135
тепловые насосы в южных районах страны	2000	1,5—2,0	30—40	14—20
вспомогательное отопление	2400—2800	1,3—1,9	31—43	15—20

Как видно из таблицы, средний платежеспособный потенциал на рассматриваемый перспективный уровень оказывается уже достаточным для оплаты населением всех электрифицированных процессов, кроме полного электроотопления с аккумуляцией тепла. Последнее может быть эффективно для населения при условии, если тарифы на электроэнергию будут оцениваться ниже расчетных затрат, допустим, 0,7—0,8 коп. за 1 кВт·ч. Это возможно при дотации на электроэнергию, отпускаемую для отопления, подобно той дотации, которая существует сейчас при продаже населению топлива, а во многих случаях и тепловой энергии. С другой стороны, если электроотопление способно обеспечить населению дополнительный (по сравнению с другими системами отопления) комфорт, то возможно, и даже необходимо, взимание оплаты за этот дополнительный комфорт. Это приведет к увеличению доли затрат на электроэнергию в бюджете населения.

Особенностью перспективного роста энергопотребления является его возрастающая связь с экологическими проблемами, превращающимися с увеличением масштабов использования топлива и энергии в проблемы

общегосударственного масштаба и требующими для своего решения крупных материальных затрат. В пределах агломераций населения и хозяйственной деятельности отдельные энергетические установки по степени возрастания влияния на здоровье человека могут быть расположены в таком порядке: загородные ГРЭС; ТЭЦ на мазуте и газе; котельные и местные источники тепла; промышленные установки; газовые плиты в жилых домах; автотранспорт. Именно поэтому огромное значение для очистки воздуха имеет перевод на электроэнергию процессов приготовления пищи, электрификации высокотемпературных процессов в промышленности, а в перспективе также и массовое развитие электромобильного транспорта.

Таким образом, в программах охраны природной среды переход на электроэнергию может способствовать очистке воздушного бассейна населенных районов и городов. Электроэнергию можно использовать для улавливания вредных выбросов, а также для электроочистки высокосернистых мазутов. Можно ожидать появления нового направления использования электроэнергии в народном хозяйстве — в аппаратах и установках, предназначенных для охраны окружающей среды — очистки уходящих газов, сбросной воды и т. п.

В 1971 г. на обследованных промышленных и сельскохозяйственных предприятиях США с объемом потребления электроэнергии 120 млрд. кВт·ч. на природоохранные технологии было израсходовано 8,7 млрд. кВт·ч (7,3%), не считая 4,3 млрд. кВт·ч для обеспечения функционирования фильтров, охладителей и других установок. Ожидается, что расход электроэнергии на эти цели к 1977 г. возрастет в 2,3 раза¹. В целом повышение уровня электрификации народного хозяйства улучшает экологическую обстановку, способствуя уменьшению концентрации вредных веществ в густонаселенных районах.

Однако в связи с этим возникает ряд других сложных экологических проблем. Во-первых, применение электротехнологий не уменьшает локального теплового загрязнения окружающей среды. Именно поэтому повышение к. п. д. электропотребляющего оборудования важно не только экономически, но и потому, что позво-

¹ Энергетический кризис в капиталистическом мире. М., «Мысль», 1975. 478 с.

ляет сократить расход первичных энергоресурсов и объем теплового загрязнения на единицу полезного технологического эффекта. С этой точки зрения особое значение имеет рост плотности потребления электроэнергии в расчете на 1 км² интенсивно хозяйственно освоенной территории. Сравнение СССР и развитых капиталистических стран Европы (рис. 8-5) показывает, что даже

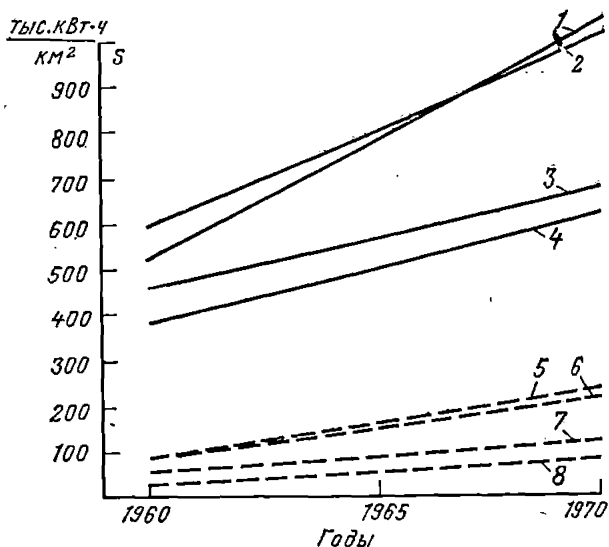


Рис. 8-5. Плотность потребления электроэнергии S на 1 км² по некоторым районам СССР и странам Западной Европы.

1 — Бельгия; 2 — Великобритания; 3 — Швейцария; 4 — ГДР; 5 — Центр европейской части СССР; 6 — Украина; 7 — Урал; 8 — республики Прибалтики.

наиболее хозяйственно-освоенные районы нашей страны не скоро достигнут зарубежной плотности потребления электроэнергии на 1 км². Во-вторых, в ближайшей перспективе повышение уровня электрификации, сокращая локальные загрязнения в местах потребления электроэнергии, абсолютно увеличивает общее загрязнение среды. При этом особые проблемы возникают в связи с охраной природы в местах массового производства электроэнергии.

8-3. ПРИРОДНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Для СССР с его громадной территорией и большим разнообразием природных условий региональные факторы играют известную

роль в выборе технологий и энергоносителей. Обеспеченность¹ энергетическими и сырьевыми ресурсами СССР колеблется в значительных размерах. Так, например, по отношению к среднесоюзной обеспеченности энергетическими ресурсами Центрального и Волго-Вятского районов РСФСР или Белорусской ССР составляет не более 2—3%, в то время как Сибирь и Дальний Восток по этому показателю превышают среднесоюзный уровень в 9—10 раз. При этом отдельные районы страны различаются по видам, качеству, условиям залегания и добычи и, следовательно, технико-экономическим показателям использования энергетических ресурсов. В частности, отдельные виды топлива и их месторождения различаются между собой по экономическим показателям топлива в 7—10 раз.

Использование для экономических оценок топлив и энергии, а в дальнейшем и взаимозаменяемых видов сырья замыкающих затрат, позволяет правильно соотносить друг с другом районные затраты на получение сырья, топлива и энергии.

Выше отмечались различия между затратами на топливо, тепло и электроэнергию по отдельным районам страны. Они составляют одну из основ для дифференцированного подхода к уровням электрификации в территориальном аспекте. Проведенные нами ориентировочные расчеты показали, например, что относительно низкая, по сравнению с другими энергоносителями, стоимость электроэнергии в районах Сибири при повышенной в этом районе стоимости воспроизводства рабочей силы в промышленности делает эффективным повышение на 10—15% отраслевой электровооруженности труда по сравнению со среднесоюзным уровнем.

Разница между районами в затратах на топливо и электроэнергию является одним из важнейших факторов, определяющих территориальную организацию труда и специализацию промышленности в нашей стране. Так, наличие в Сибири дешевых и малотранспортабельных ресурсов в сочетании с другими факторами определило, как известно, формирование здесь мощной общесоюзной базы энергоемких продуктов цветной металлургии и химии, — производство алюминия, ферросплавов, химических волокон и др. Массовое получение в Сибири энергоемкой продукции для других районов, как показывают расчеты, является одной из наиболее экономичных форм участия ее уникальных энергетических ресурсов в решении задач экономического развития страны. Вместе с тем различия в структуре продуктов промышленного производства и, следовательно, структуре энергетических процессов и технологий между отдельными районами страны влияют на уровни электроемкости продукции и электровооруженности труда в промышленности и электрификации народного хозяйства в целом. Некоторые данные, иллюстрирующие эти различия, приведены в табл. 8-18.

Природно-климатические условия непосредственно влияют на экономические показатели систем энергоснабжения. Известно, например, что стоимость строительства и эксплуатации промышленных, в том числе энергетических, зданий и сооружений меняется в зависимости от климатических условий и условий освоения районов. При этом для отдаленных районов с суровыми климатическими условиями стоимость производства и распределения тепловой энергии возрастает более существенно, чем стоимость произ-

¹ Под обеспеченностью мы подразумеваем здесь отношение запасов топлива и энергии к современному уровню их потребления.

Таблица 8-18

**Потребление электроэнергии на душу населения
по районам СССР¹, 1970 г.**

Районы страны	Специализация промышленности	Потребление электроэнергии на душу населения	
		тыс. кВт·ч	%
Прибалтика	Машиностроение, легкая, пищевая промышленность	2,1	70
Центральный, Центрально-Черноземный, Волго-Вятский	Машиностроение, химическая, легкая и пищевая промышленность	3,5	117
Урал	Черная и цветная металлургия, тяжелое машиностроение, химия и нефтепереработка	5,8	193
Восточная Сибирь	Энергоемкая цветная металлургия и химия, тяжелое машиностроение, топливная	8,8	293
Средняя Азия	Легкая и пищевая промышленность, химия, машиностроение	1,3	43
Всего по СССР		3,0	100

¹ Рассчитано по справочнику „Народное хозяйство СССР в 1970 г.“ (М., „Статистика“, 1971 г.) и книге „Электроэнергетическая база районов СССР“. Под ред. В. К. Савельева (М., „Наука“, 1974 г.).

водства и распределения электроэнергии. Это является одним из факторов, обуславливающих целесообразность здесь более высокого уровня электрификации народного хозяйства. В районах вечномёрзлых грунтов строительство зданий ведется, как правило, с проветриваемым подпольем. В помещениях первых этажей таких зданий перспективно применение электроэнергии для обогрева полов, так как обогрев полов змеевиками с циркуляцией в них воды в рассматриваемых условиях грозит неблагоприятными последствиями для конструкции зданий [Л. 129, с. 120, 121].

Местные природные факторы (климат, рельеф местности, сейсмичность, условия водоснабжения) могут существенно влиять на стоимость строительства индивидуальных энергетических объектов даже в пределах одного района или зоны. Так, например, «привязка» мелких котельных в конкретных транспортных и природно-географических условиях может увеличивать общие затраты на сооружение этих объектов на 20—50%.

Большое влияние на выбор энергоносителей оказывает климатическая характеристика района, так как с ней связаны расходы топлива и экономические показатели всех тепловых процессов, особенно отопления. От климатической характеристики районов во многих случаях также зависят технико-экономические показатели комфортного летнего кондиционирования воздуха. В отличие от других более изученных вопросов, касающихся влияния природных

условий на параметры систем энергоснабжения, они нуждаются в специальном рассмотрении. Наиболее ярко влияние климата на решение вопросов теплоснабжения и кондиционирования воздуха может быть показано путем сопоставления климатических условий СССР с климатом США и других развитых капиталистических стран, где применение электроэнергии для отопления и хладоснабжения уже сейчас значительно.

Большая часть СССР лежит, как известно, в северном умеренном поясе, а меньшая — в северном холодном поясе. Южная точка страны имеет 35° с. ш., крайне северная точка, включая острова Северного Ледовитого океана — почти 82° с. ш. Соединенные Штаты Америки (без Аляски и Гавайских островов) расположены в южной части северного умеренного пояса между 24 и 49° с. ш. Северная граница США проходит по широте Винницы, Волгограда и Караганды, а южная граница соответствует широте Асуана (АРЕ) и Карачи (Пакистан). Географическая широта Нью-Йорка соответствует широте Батуми, Тбилиси и Ташкента. Основные капиталистические страны Европы расположены на широтах, соответствующих южной половине СССР. Так, широта Лондона соответствует широте Курска, Франкфурта-на-Майне — Харькова, Парижа — Днепропетровска. Климат западно-европейских стран носит смягченный влиянием Атлантического океана приморский или слабо континентальный характер. Зима в Западной Европе менее суровая, чем на соответствующих широтах в СССР (табл. 8-19).

Таблица 8-19

Средняя температура января в некоторых городах СССР и Западной Европы, °С

Города Западной Европы	Города СССР, лежащие примерно на той же широте
Лондон, Великобритания . . . +3,7	Воронеж —9,8
Бремен, ФРГ +0,6	Воронеж —9,8
Париж, Франция +2,2	Ворошиловград —7,0
Осло, Норвегия +2,0	Ленинград —7,7

Большие территории СССР и США, разное положение отдельных районов по отношению к мировому океану, разнообразие географических характеристик и другие факторы, определяющие различие типов климата обеих стран, затрудняют их сравнение. Для того чтобы приблизительно учесть различия в климате этих стран, нами были получены обобщенные (средневзвешенные) климатические характеристики, в частности температура воздуха. При этом «весовым» показателем для расчета обобщенных характеристик была принята численность населения, проживающего в отдельных районах. Выбор этого показателя определялся тем, что размещение населения во многом отражает также размещение производительных сил. Поэтому полученные таким образом обобщенные климатические характеристики пригодны для использования при сравнении технологий и энергоносителей как для быта, так и для промышленности. Как известно, для выбора способа отопления

необходимы следующие характеристики; расчетная температура t_p , по которой рассчитывается мощность отопительных систем; число градусо-дней (или градусо-часов) отопительного периода для определения годовой потребности Q в энергии. При этом $Q = 24L(t_{\text{комф}} - t_{\text{от,ср}})$, где L — продолжительность отопительного периода, сут; $t_{\text{от,ср}}$ — средняя температура отопительного периода; $t_{\text{комф}}$ — комфортная внутренняя температура отапливаемых помещений (без большой погрешности и для сопоставимости данных она может быть принята $+18^\circ\text{C}$).

Все необходимые показатели по СССР имеются в советских справочниках по отоплению и вентиляции. Соответствующие показатели по США даются в американской технической литературе. Однако принципы исчисления расчетных климатических показателей для отопления в СССР и США различны и их сопоставимость требует специального изучения.¹ Поэтому сравнение расчетных климатических характеристик осуществляется далее на основе общих показателей климата. Установлено, что между расчетной температурой для отопления t_p и среднеянварской температурой $t_{\text{св}}^{\text{январь}}$ существует корреляционная зависимость, описываемая уравнением

$$t_p = 1,2 t_{\text{св}}^{\text{январь}} - 12.$$

Эта зависимость действует на территории СССР практически для всех климатических условий и может быть использована для получения сопоставимой оценки t_p для США.

Для ориентировочного сопоставления продолжительности отопительного периода на основе данных о среднемесячных температурах воздуха был построен график хода годовых температур (рис. 8-6). По ординате $+10^\circ\text{C}$, соответствующей в среднем началу периода отопления для условий СССР, были отсечены соответствующие участки графика, равные по оси абсцисс продолжи-

Таблица 8-20

Климатические показатели для отопления в СССР, США и других странах

[Страна]	Средняя температура января, $^\circ\text{C}$	Расчетная температура отопления t_p , $^\circ\text{C}$	Перепад температур ($18^\circ - t_p$)		Продолжительность холодного периода, сут	Средняя температура холодного периода, $^\circ\text{C}$	Продолжительность холодного периода	
			$^\circ\text{C}$	%			градусо-дни	%
СССР	-10,0	-24,0	42,0	100	217	-2,2	4370	100
США	+1,7	-10,0	28,0	67	153	+4,9	2310	53
ФРГ (Бремен)	+0,6	-11,3	29,3	70	205	+4,0	2830	65
Франция (Париж)	+2,2	-9,4	27,4	65	198	+5,6	2450	56
Англия (Лондон)	+3,7	-7,4	25,4	60	198	+6,1	2350	54

¹ Так, под расчетной температурой в СССР понимается средняя температура самой холодной пятидневки, а в США наиболее низкая температура с обеспеченностью 97%.

тельности периода с $t \leq +10^\circ\text{C}$. По данным этого графика были получены и другие производные величины: $t_{\text{ср}}^{\text{от}}$ и Q . Соответствующие данные приведены в табл. 8-20. Климатические показатели СССР существенно отличаются от аналогичных показателей для США и стран Западной Европы. Отсюда следует, что при равной теплоизоляции расход электроэнергии для отопления 1 м^2 жилой площади в условиях СССР будет составлять в среднем 100 единиц по сравнению с 72 в ФРГ и только 46 в США.

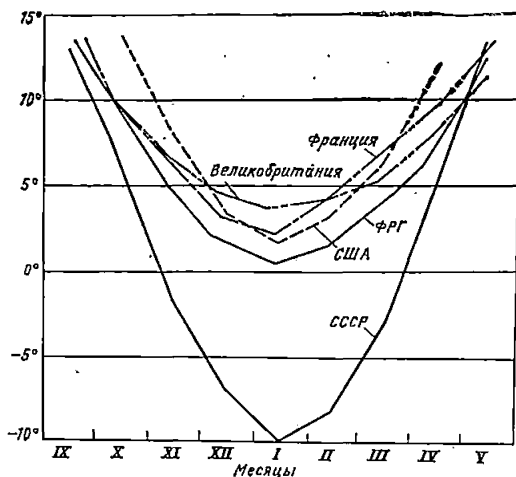


Рис. 8-6. Ход среднемесячных температур на территории СССР и ряда развитых капиталистических стран.

Применение электроотопления в условиях СССР требует на 1 м^2 в среднем в 1,5—1,7 раза больших, чем в США и странах Западной Европы капитальных затрат. При более дорогой по сравнению с топливом электроэнергии, больший расход энергетических ресурсов приводит к тому, что абсолютный перерасход средств на электроотопление (в том числе и средств населения на оплату электроэнергии) в СССР увеличивается по сравнению с другими странами. Следовательно, «цена дополнительного комфорта», предоставляемого электроотоплением, оказывается выше, чем за рубежом.

Интересно также сопоставление климатических характеристик с точки зрения использования для электрификации низкотемпературных процессов тепловых насосов, источником тепла (холода) которых служит наружный воздух¹. Эффективность использования

¹ Эти тепловые насосы, очевидно, наиболее применимы в бытовом секторе, где использование других источников тепла (холода) затруднено.

таких тепловых насосов и, прежде всего их коэффициент преобразования, зависит от ряда условий:

перепада температур между первичным источником тепла зимой или холода летом и требуемой комфортной температурой в помещении. Чем меньше этот перепад, тем при прочих равных условиях выше коэффициент преобразования тепловых насосов;

продолжительности использования тепловых насосов в режиме отопления и охлаждения. Ее рост уменьшает удельную стоимость этих весьма дорогих агрегатов в расчете на единицу производимого тепла (холода);

соотношения перепадов между температурой наружного воздуха и комфортными температурами в помещении в течение летнего и зимнего времени. Чем ближе эти перепады, тем полнее используется мощность теплового насоса в течение года, если она выбрана по режиму отопления, и тем меньше мощность установок дополнительного отопления зимой, если мощность теплового насоса выбиралась по режиму хладоснабжения.

Для поддержания комфортных условий в жилых помещениях летом на большей части территории СССР достаточно простейших средств: жалюзи и других защищающих устройств, увлажнителей, вентиляторов. Поэтому применение тепловых насосов для кондиционирования здесь будет зависеть от возможностей их использования в обратном режиме, т. е. для отопления. Между тем расчетная температура отопления на этой части территории СССР не выше -18°C , а перепад между расчетной и комфортной температурами примерно 36°C . В этих условиях коэффициент преобразования энергии в режиме отопления у компрессионных тепловых насосов не будет превышать 1—1,2. Эти дорогие агрегаты явно неэкономичны и при использовании их для отопления.

На территории с расчетной температурой -18°C и ниже в СССР проживает $3/4$ всего населения. По сравнению с США это составляет нарастающим итогом ко всей численности населения, %:

	СССР	США
От -18 до -21°C	15	11
От -18 до -25°C	45	15
От -18 до -29°C	62	16
Всего (ниже -18°C)	77	16

Расчетная температура отопления в большинстве районов и стран Западной Европы выше -18°C .

Районы Средней Азии и Закавказья, а также частично Северный Кавказ (без Ростовской области), Южная Украина, Молдавская ССР и Поволжье характеризуются расчетной температурой отопления выше -18°C . В то же время эти районы отличаются жарким и весьма продолжительным летом¹. Средняя температура июля превышает здесь $24-25^{\circ}\text{C}$, а расчетная температура для кондиционирования наружного воздуха составляет $35-39^{\circ}\text{C}$ и выше. В этих условиях становится целесообразным, а во многих случаях обязательным летнее кондиционирование воздуха. С другой стороны, в этих районах перепад между наружной и комфортной

¹ В районах Закавказья и Средней Азии необходимо учитывать существенные внутренние мезоклиматические различия, в особенности вертикальную зональность.

Характеристика климатических условий отдельных зон СССР

Зона	Типичные пункты, по которым принимались показатели	Среднемесячная температура, °С		Расчетная температура, °С		Перепад температур между комфортной и расчетной, °С		Соотношение зимнего и летнего периода, %	Продолжительность отопительного периода, сут	Число жарких дней в году	Число градусо-суточных дней отопительного периода
		январь	июль	для отопления	для кондиционирования	зимой	летом				
Северная	Сыктывкар	Нет сведений	+15,0	-33	+25	51	7	730	218	До 25	5700.
Западная	Москва	-10,2	+17,9	-26	+30	44	7	630	186	25—50	4400
Южная	Киев, Одесса	-6,8	+22,0	-20	+32	38	9	420	145	50—100	3000
Юго-Восточная	Иркутск	-20,9	+17,5	-36	+33	54	9	600	210	24—40	6100
Северо-Восточная	Нарым, Туруханск	-22,0	+15,0	-48	—	66	—	1000	235	До 25	6000—6800
Казахстанская	Караганда	-15,2	+20,6	-31	+35	49	11	440	189	50—150	5100
Среднеазиатско-Закавказская	Ташкент, Самарканд	-2,0	+26,0	-12	+39	28	13	210	80—85	Свыше 150	1500—2000

П р и м е ч а н и е. Северная зона: Мурманская обл., Архангельская обл., Коми АССР, Карельская АССР, Западная зона: европейская часть СССР и Урал, без районов, входящих в южную и северную зоны. Южная зона: Украинская ССР, Молдавская ССР, Северный Кавказ, Волгоградская и Астраханская обл., Калининградская ССР. Северо-Восточная зона: северные районы Сибири и Дальнего Востока, включая Якутскую АССР. Юго-Восточная зона: южные районы Сибири и Дальнего Востока. Казахстанская зона: Казахская ССР. Среднеазиатско-закавказская зона: республика Узбекистан и Средняя Азия.

температурами летом и зимой относительно невелик, что определяет возможность получения относительно высоких среднесезонных коэффициентов преобразования компрессионных тепловых насосов: 3—4 по режиму отопления и 2—3 по хладоснабжению.

На территории среднеазиатско-закавказской зоны и прилегающих к ней районов с максимальной средней температурой июля выше $+27^{\circ}\text{C}$ проживает в настоящее время 23% населения СССР. В США с аналогичными или близкими температурными условиями 60% населения¹.

Приведенные данные показывают большое значение учета климатических условий для выбора систем теплоснабжения. Вместе с тем они еще раз свидетельствуют, что сравнение стран по уровню электрификации должно проводиться с учетом не только социально-экономических, но и природно-географических различий.

Климатические характеристики семи зон СССР (табл. 8-21) показывают, что на территории СССР имеются существенные климатические различия. Они значимы не только для систем теплоснабжения и хладоснабжения, но и для производственных тепловых процессов, идущих на открытом воздухе. Расходы энергии на их осуществление будут неодинаковы. Так, отопление единицы объема промышленных, жилых и гражданских объектов при прочих равных условиях на северо-востоке нашей страны требует в 3—4 раза больше топлива, чем в районах Средней Азии и Закавказья, и в 2 раза больше, чем на Украине.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

9-1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Взаимосвязанность электрификации с важнейшими хозяйственно-политическими целями и структурными сдвигами, происходящими в народном хозяйстве, является исходным пунктом, определяющим очередность, основные направления и уровни ее развития. Основные этапы электрификации народного хозяйства и ее количественные показатели, в том числе уровень потребления электроэнергии, с одной стороны, определяются глубокими технологическими сдвигами в развитии производительных сил, а с другой, должны подкрепляться техническими сдвигами в развитии электроэнергетики, прежде всего изменениями в методах производства электроэнергии. В табл. 9-1 приводится выполненная

¹ Поскольку подобных данных о расчетных температурах для кондиционирования воздуха по США не имеется, для сравнения принят показатель максимальной средней температуры самого жаркого месяца — июля; в СССР — максимальная средняя температура июля на $2-5^{\circ}\text{C}$ ниже расчетной.

Основные этапы электрифи

Этапы электрификации	Технологии		Примерное значение приведенных затрат на электроэнергию, коп/кВт·ч]
	общественного производства	электроэнергетики	
Современный	Традиционная	Классическая на основе использования органического топлива	1,3—1,4
Перспективные I	Традиционная на основе комплексной механизации и частичной автоматизации	То же, начало широкого развития атомной энергетики	1,1—1,3
II	Развертывание широкой автоматизации. Начало развития плазменно-квантовой и другой новой технологии	Широкое развитие атомной энергетики	0,9—1,1
III	Преобладание автоматизации на основе плазменно-квантовых и других новых процессов. Широкая автоматизация на транспорте и в быту	Широкое развитие термоядерного синтеза и топливных элементов	0,35—0,75

нами оценка показателей этапов электрификации страны, иллюстрирующая это положение. Эти показатели не привязаны к тем или иным моментам времени, а условно определены, исходя из этапов развития технологий общественного производства и электроэнергетики в условиях научно-технической революции.

Как уже указывалось, наиболее эффективной и, следовательно, первоочередной является дальнейшая электрификация стационарных силовых процессов в промышленности и сельском хозяйстве, где электроэнергия вытесняет малопроизводительный живой труд. Однако несмотря на достигнутые успехи в области механизации промышленности, доля ручного труда остается все еще весьма значительной (табл. 9-2).

Таблица 9-1

кации-народного хозяйства

Электрифицируемые процессы	Коэффициент электрификации					Оценка размеров потребления электроэнергии, млрд. кВт·ч
	Общий	В том числе по процессам				
		силовые стационарные	силовые мобильные	высокотемпературные и др.	низкотемпературные	
Завершение электрификации стационарных силовых процессов в промышленности. Электрификация стационарных силовых процессов сельского хозяйства и вспомогательных работ. Развитие электротермии и электролиза	13	75	15	12	1	1000
Завершение электрификации стационарных силовых процессов, включая вспомогательные. Дальнейшее развитие электролиза и электротермии. Начало электрификации низкотемпературных процессов промышленности и особенно сельского хозяйства	18	90—95	10—12	16—18	5	2000—3000
Завершение электрификации термических процессов (кроме обжиговых). Широкое развитие новых электротехнологий. Развитие комфортного кондиционирования воздуха. Начало электрификации низкотемпературных процессов в быту	30—35	95	7—8	30—40	8—12	5000—9000
Преобладание плазменно-квантовых и других электрических процессов. Широкая электрификация низкотемпературных и силовых мобильных процессов	50—75	95 и выше	30—70	70—80	20—60	25 000—40 000

Большая часть вспомогательных рабочих работает вручную. Так, в 1965 г. из 2,2 млн. чел., занятых на погрузочно-разгрузочных и транспортных работах, только 31% использовали механизмы, а 69%, или около 1,5 млн. чел., работали без их применения [Л. 118]. При почти полной механизации основных процессов добычи угля, как указывает М. А. Виленский, доля ручного труда в угольной промышленности еще недавно составляла 54%. Даже в современных высокомеханизированных доменных и сталелитейных цехах доля ручного труда достигала 30% [Л. 19, с. 339].

Важным условием сокращения численности занятых на вспомогательных, в том числе ручных, работах является рациональная организация производства, в том числе максимально возможная централизация специа-

Таблица 9-2

Доля рабочих механизированного и ручного труда¹, %

Показатели	Доля рабочих, выполняющих работу			
	при помощи машин и механизмов, а также по наблюдению за работой автоматизированных и автоматических установок	ручную		
		при машинах и механизмах	без машин и механизмов	на ремонте и наладке линий и механизмов
Промышленность:				
1959 г.	36,0	9,0	45,5	9,5
1965 г.	40,4	7,7	40,6	11,2
1972 г.	44,3	7,1	36,0	12,6
В том числе:				
основные рабочие	61,5	7,8	30,1	0,6
вспомогательные рабочие	26,6	6,3	42,3	25,2
Строительство:				
1965 г.	27,7	9,4	60,1	2,8
1972 г.	34,2	10,0	52,2	3,6

¹ Костин Л. А. Производительность труда и технический прогресс. М., «Экономика», 1974, с. 127.

лизированной ремонтной службы. Сокращение ручного труда должно быть осуществлено на базе электромеханизации этого труда, т. е. оснащения отраслей специальным ремонтным электроинструментом и электрифицированным подъемнотранспортным оборудованием (краны, транспортеры, электрокары и т. п.). По нашей оценке полная электромеханизация позволила бы сократить численность занятых ручным трудом в промышленности на 30—40%.

По данным США применение электропогрузчиков на порядок повышает производительность труда по сравнению с ручной переработкой грузов. Внедрение 180 погрузчиков на заводе имени Лихачева высвободило 1500 транспортных рабочих. Использование электропогрузчиков на внутризаводских потоках до 150 м сокращает площадь заводской территории на 30%, и позволяет довести плотность застройки до 45% *. Средние экономические показатели подъемно-транспортного оборудования характеризуются данными табл. 9-3.

* Моисеев В. П. Эффективность применения электро- и автопогрузчиков на внутризаводских грузопотоках. — В кн.: Вопросы повышения эффективности машиностроительного производства. Челябинск, Южно-Уральское книжное издательство, 1972.

**Сравнительные экономические показатели
подъемно-транспортного оборудования**

Оборудование	Стоимость единицы, тыс. руб.	Годовые издержки		Срок оку- паемости, годы
		всего, тыс. руб.	на 1 т груза руб.	
Конвейеры толкающие, тележечные, подвешенные	10—76	2,5—10	0,33	2,8
Краны однобалочные, мостовые, кран-балки	0,9—5,5	2,2	0,38	—
Подвесные самоходные электрогрузовозы с адресованием	9—47	3,12	0,27	1,1
Электропогрузчики и электрокары	1,3—3,2	1,5—1,8	0,14	0,45

Физико-биологическими экспериментами установлено, что в среднем в течение одного восьмичасового рабочего дня рабочий, занятый неквалифицированным трудом, может выполнить механическую работу, равную максимум 1—1,2 кВт·ч (125—150 Вт/ч). Поэтому электромеханический эквивалент одного рабочего составляет примерно 220—250 кВт·ч/год. При замене рабочего на ручных операциях электромеханической системой количество потребляемой за год электроэнергии возрастает в зависимости от характера технологического процесса, организации работ, типа замещающей жилой труд механической системы и ее к. п. д.

Для замены одного работника, занятого ручным трудом, требуется от 600 до 3500 кВт·ч/год. Эти показатели основаны на опыте вытеснения ручного труда и получены в основном эмпирическим путем. Обращает внимание низкое значение к. п. д. замещающей рабочего системы — от 7 до 40%, поэтому необходимо специальное исследование с учетом сравнения кинематики движений рабочего с кинематикой системы машин. Вместе с тем потребность в электроэнергии невелика. Полная электрификация вспомогательных работ по нашей оценке потребовала бы 2—5% общего расхода электроэнергии в промышленности. В пересчете на одного высвобождаемого в результате электромеханизации трудящегося, занятого ручным трудом, стоимость электрооборудования и электроинструмента составляет по нашей

оценке от 1,2 до 4,5 тыс. руб., в среднем примерно 2,5 тыс. руб. Издержки по эксплуатации этого оборудования можно принять в среднем не более 20% стоимости оборудования. Это свидетельствует о высокой эффективности электромеханизации вспомогательных работ, растущей с увеличением стоимости воспроизводства рабочей силы (табл. 9-4).

Таблица 9-4

Оценка эффективности электромеханизации
вспомогательных работ

Показатели	Среднегодовая зарплата $Z_{\text{ср}}$ рабочего, руб/год				
	1030	1300	1800	2000	2500
Капитальные затраты, руб/чел: по оборудованию на электроэнергию	2500 210	2500 210	2500 210	2500 210	2500 210
Итого	2710	2710	2710	2710	2710
Издержки, руб/чел: по эксплуатации электрообору- дования на получение электроэнергии	500 35	500 35	500 35	500 35	500 35
Итого	535	535	535	535	535
Срок окупаемости затрат на элек- tromеханизацию, лет	5,8	3,5	2,2	1,8	1,4
Экономия приведенных затрат, коп/(кВт·ч)	4	12,5	27	33	46
Экономия человеко-часов живого труда (из расчета 1600 ч на ра- бочего в год) ¹ , $\left(\frac{\text{чел-ч}}{\text{кВт-ч}}\right)$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

¹ При расходе электроэнергии 3500 кВт·ч на 1 чел. в год.

С учетом эффекта от вовлечения высвобожденной рабочей силы в другие отрасли производства, даже при дополнительных затратах на обучение рабочих, срок окупаемости электромеханизации вспомогательных работ будет значительно ниже.

В материалах XXV съезда КПСС механизации ручного труда уделено особое внимание. Программа механизации ручного и физического тяжелого труда с целью существенного сокращения его удельного веса названа

в числе первоочередных комплексных программ развития народного хозяйства СССР. В десятой пятилетке предусмотрено увеличение выпуска средств механизации трудоемких и тяжелых строительных, подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ примерно в 2 раза.

В животноводстве на стационарных немеханизированных работах сегодня занято около 50% всех труженников сельскохозяйственного производства. Для механизации этих работ в 1971—1975 гг. начато и продолжается создание системы машин в составе 550 наименований. Основной энергетической базой животноводства станет электричество. В новой системе 2/3 электрифицированных машин, в том числе автоматизированных 40%¹. Электроэнергия будет широко использована не только для привода, но и непосредственного осуществления технологических процессов в виде ультрафиолетового и инфракрасного облучений, очистки кормов от механических примесей и т. д. Новая система машин позволит обеспечить следующие уровни механизации и автоматизации производственных процессов животноводства (по числу операций), %:

	Механизация	Автоматизация	Ручные работы
Обслуживание молочного стада	55	28	17
Откормочное свиноводство . . .	74	22	4
Птицеводство	83		17

С 1970 по 1974 г. уровень комплексной механизации ферм крупного рогатого скота повысился с 11 до 20%, свиноводческих с 26 до 45%, птицеводческих с 23 до 45%. В СССР уже действует более 40 тыс. комплексномеханизированных ферм [Л. 62].

Для всех электрифицируемых процессов на современном уровне производства потребуется прирост потребления электроэнергии примерно 10 млрд. кВт·ч, или около 3000 кВт·ч на человека в год. Благодаря снижению затрат в животноводстве потребность в обслуживающем персонале для ферм могла бы уменьшиться по стране в целом примерно на 3 млн. чел. Общая экономия издержек на производство продукции

¹ Большинство показателей по системе машин взято по данным статьи Морозова Н. М. «Разработка системы машин для комплексной механизации животноводства». («Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1975, № 6).

Животноводства и птицеводства составит около 2 млрд. руб., а окупаемость капиталовложений на создание системы машин будет 2,5—3 года.

В отличие от трудоемких ручных работ дальнейшая электрификация силового привода в основном промышленном производстве сталкивается с определенными трудностями. Вплоть до 1960 г. доля механических двигателей на паровом приводе, сжатом воздухе и частично двигателях внутреннего сгорания в промышленности сокращалась при быстром росте удельного веса электромоторов и особенно электроаппаратов. После 1960 г. начала проявляться обратная тенденция. В настоящее время коэффициент электрификации производственных процессов в промышленности очень высокий (87%). Он несколько снизился по сравнению с 1960 г., что частично может быть объяснено применением двигателей внутреннего сгорания на буровых установках и газокompрессоров при транспорте газа, особенно в удаленных от энергосистем районах, кроме того, продолжается установка воздуходувок и компрессоров с паровым приводом в черной металлургии.

Задача заключается в скорейшем вытеснении паровых и пневматических машин из всех областей, где их использование неэффективно из-за низкого к. п. д. плохой управляемости и скорости. Это паровые молоты в машиностроении, паровые насосы в нефтеперерабатывающей промышленности, а также различных пневматический инструмент. Следует иметь в виду, что капитальные затраты на сооружение сложных пневматических систем (компрессоров, трубопроводов, фильтров, масленок) значительно выше затрат по подводу электроэнергии. Энергетическая эффективность пневматических и электрических машин также весьма различна. Весьма значительны затраты на эксплуатацию пневматических сетей и ремонт пневмомашин и пневмоинструмента в связи с необходимостью тщательной сушки воздуха и очистки его от посторонних частиц, а также из-за утечек сжатого воздуха.

Прогресс в технике электропривода идет по пути замены машин, которые уже исчерпали свои возможности по росту производительности, принципиально новым оборудованием. Так, в частности, в легкой промышленности это повлекло за собой создание новых способов получения тканей. К ним можно отнести

пневмомеханический, гидравлический, термопластический и другие способы прядения, применение пневмораспирающих и плоскосекционных ткацких станков и т. д.

Производство тканей новыми способами существенно отличается от классического, это различие проходит через все технологические стадии. Поэтому экономическая эффективность новой техники, как правило, более капиталоемкой и энергоемкой, определяется путем выявления совокупной эффективности в прядильном, ткацком и отделочном производствах, с учетом изменения потребительских свойств готовых изделий. Дело в том, что на отдельных стадиях переработки хлопчатобумажного сырья применение новой техники не всегда эффективно, но необходимо. Только полупродукты, полученные новыми способами, могут быть использованы в дальнейшем в новых технологических процессах производства пряжи и тканей. Расчеты по определению приведенных затрат по стадиям прядильного производства показали, что в целом новые способы на 10—12% эффективнее кольцевого прядения (табл. 9-5).

Таблица 9-5

Эффективность пневмомеханического прядения

Наименование передела (цеха)	Затраты, руб/т пряжи		Расходы электроэнергии, кВт·ч/т	
	прядение		прядение	
	кольцевое	пневмомеханическое	кольцевое	пневмомеханическое
Разрыхлительно-трепальный	29,5	29,5	215	215
Чесальный	29,3	45,7	202	326
Ленточный	30,1	32,1	120	150
Ровничный	37,5	Исключается	110	Исключается
Прядильный	134,0	140,6	1570	2700
Затраты в зданиях	45,0	46,0	—	—
Итого:				
на 1 т пряжи	305,4	273,9	2215	3395
на 1000 м ²	55	49,3	400	610

Для определения эффективности ткачества проведены расчеты сравниваемых вариантов по 4 видам станков. При этом по рассматриваемым способам учитывалась вся схема послепрядильного процесса: кручение, подготовка основы и утка. Результаты расчетов приведены в табл. 9-6.

Таблица 9-6

Эффективность сравниваемых вариантов прядения и ткачества, руб. приведенных затрат/1000 м²

Наименование	Прядение кольцевое				Прядение пневмомеханическое			
	Челночный станок	Бесчелночный станок	Пневморядный станок	Плоскосекционный станок	Челночный станок	Бесчелночный станок	Пневморядный станок	Плоскосекционный станок
Прядение	55,0	55,0	55,0	55,0	49,3	49,3	49,3	49,3
Кручение	16,0	16,0	16,0	16,0	17,7	17,7	17,7	17,7
Ткачество	46,9	73,9	46,5	47,9	59,3	63,9	36,5	37,9
В том числе затраты по ткацкому станку	38,4	60,5	33,1	34,5	38,4	60,5	33,1	34,5
Итого	117,9	144,9	117,5	118,9	126,3	130,9	103,5	104,9
Отношение к минимальным затратам, %	114	140	114	115	121	126	100	101
Полный расход электроэнергии, кВт·ч/1000 м ²	587	525	750	810	710	628	853	913

Как видно из таблицы, наиболее перспективными являются пневморепрессорные станки (типа АТПР-100). Их применение вместо челночных станков позволяет повысить производительность труда в ткацком производстве на 20—25% при росте расхода электроэнергии в 1,9 раза, а по всем процессам соответственно в 2,0—2,2 и 1,45—1,5 раза*.

Электрификация силовых процессов транспорта будет продолжаться в основном за счет дальнейшего развития электротяги на железных дорогах, обеспечивающей существенное повышение пропускной и провозной способности транспортных магистралей. На конец 1974 г. в СССР было электрифицировано около 38 тыс. км наиболее грузонапряженных железных дорог страны, на которые приходилось 27,7% всего полигона сети и 51,2% общего грузооборота железнодорожного транспорта страны. Электрификации железных дорог СССР способствовала их высокая грузонапряженность. Если в 1950 г. в среднем на 1 км железных дорог общего пользования приходилось 5,2 млн. т груза, то к 1973 г. эта величина возросла до 21,6 млн. т; она в несколько раз превышает грузонапряженность железных дорог США, Франции, Англии, ФРГ и других капиталистических стран.

В настоящее время темпы электрификации железных дорог в СССР снизились. Если в 1960—1965 гг. прирост полигона с электрической тягой составлял ежегодно 2000 км, то в 1970—1974 гг. он равен только 1000 км. Это определяется тем, что электрификация наиболее загруженных двухпутных железных дорог, где электрическая тяга эффективна, в основном завершена. Электрическая тяга применяется на линиях, средняя грузонапряженность которых составляла в 1970 г. 36 млн. т·км/км в год в обоих направлениях, в том числе на двухпутных с грузонапряженностью свыше 45 млн. т·км/км и однопутных с грузонапряженностью 20—30 млн. т·км/км в год [Л. 29]. Практически все железные дороги с грузонапряженностью выше средней уже электрифицированы, или будут переведены на электротягу в ближайшем будущем (рис. 9-1). Электрифика-

* Применение новых методов производства хлопчатобумажных тканей определяется не только их экономической эффективностью, но и целым рядом социальных факторов, прежде всего снижением шума в прядильных и ткацких цехах в 1,3—2 раза.

ий менее загруженных железных дорог неэффективна, за исключением магистралей с особо сложными условиями пути (пересеченный рельеф, наличие тоннелей и т. п.). С малой загрузкой железных дорог связан низкий уровень их электрификации во многих западно-европейских странах. В США в 1969 г. было электрифицировано менее 3000 км железных дорог, или 1%, всей сети в стране.

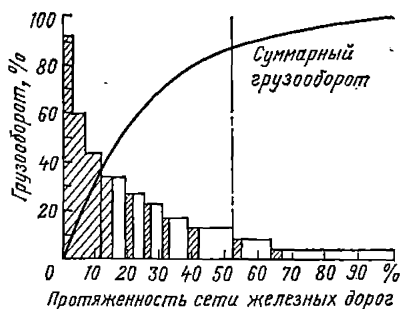


Рис. 9-1. Распределение железнодорожной сети по величине грузооборота.

Штриховкой показан грузооборот электрифицированных железных дорог (по материалам МИРЭК-VIII, доклад 1.5-111).

Однако в дальнейшем интерес к электрификации железных дорог может повыситься. В густонаселенных странах это связано, во-первых, с охраной окружающей среды. Железнодорожный транспорт — самый неэнергоемкий вид колесного транспорта. На единицу грузовой или пассажирской работы здесь расходуется в 3—3,5 раза меньше энергии, чем на автотранспорте. Электрификация железных дорог, особенно пригородных участков, значительно улучшает экологические характеристики железнодорожного транспорта. Второй причиной повышенного интереса к электротяге явился рост цен на жидкое топливо. Как известно, энергетическая составляющая в стоимости перевозочной работы транспорта весьма велика. Если расход дизельного топлива на 10 000 т · км работы брутто составляет примерно 30 кг, или в условном топливе 42 кг, то при стоимости условного топлива 25 руб/т приведенные затраты на эту работу составят 1,05 руб., а при 50 руб/т — вдвое больше. Расход же электроэнергии на эту работу около 100 кВт · ч, что по приведенным затратам равно 1,1—1,5 руб.

Вместе с экономией постоянной части эксплуатационных затрат экономия по энергетической составляющей позволяет окупить капиталовложения на электри-

фикацию железных дорог, равные 80—110 тыс. руб. на 1 км, при значительно более низких «критических» значениях грузонапряженности¹ (рис. 9-2).

При росте приведенных затрат на жидкое топливо в 2 раза по сравнению с современным уровнем экономически эффективно будет увеличить протяженность электрифицированных железных дорог в СССР на 20—25 тыс. км, а по мнению ряда специалистов, например В. А. Дмитриева, на 30—35 тыс. км.

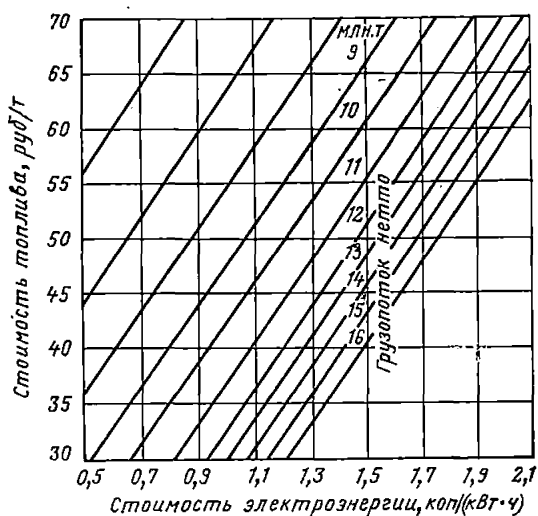


Рис. 9-2. Зоны равной экономичности электровозной и тепловозной тяги в зависимости от грузооборота, стоимости электроэнергии и дизельного топлива.

Если электрификация стационарных силовых процессов обеспечивает снижение затрат живого труда, то использование электроэнергии в технологии, прежде всего для электротермии и электролиза, связано с изменением материальной структуры продукции и резким повышением ее качества, т. е. влияет через снижение материалоемкости производства на экономию овеществленного труда. Для промышленности СССР характер-

¹ В 1973 г. производительность труда по перевозке грузов на железных дорогах на 1 работника составляла на полигоне с электротягой 2,37 млн. т·км, а на полигоне с тепловозной тягой 1,63 млн. т·км («Железнодорожный транспорт», 1974, № 12, с. 57).

ны опережающие темпы производства новых энергоемких материалов и существенное в связи с этим изменение структуры конструкционных материалов (табл. 9-7).

На первой стадии электрификации происходит расширение производства методами электролиза и электротермии таких материалов, которые не могут быть получены другими методами: алюминия, магния, никеля, хлора, желтого фосфора, ферросплавов и перевод на

Таблица 9-7

Структура потребления конструкционных материалов в народном хозяйстве¹, %

Материал	Годы								
	1960			1970			1975		
	Масса	Объем	Стоимость	Масса	Объем	Стоимость	Масса	Объем	Стоимость
Черные металлы	96,0	90,9	78,8	94,5	85,0	73,8	92,6	78,8	67,9
Алюминий	1,0	3,4	5,3	1,7	4,6	8,0	2,3	5,4	9,5
Тяжелые цветные металлы	2,4	2,3	12,8	2,2	1,9	11,0	2,4	2,0	11,3
Пластмассы	0,6	3,4	3,1	1,6	8,5	7,2	2,7	13,8	11,3
И т о г о . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹ Научно-технический прогресс и эффективность общественного производства. Под ред. М. А. Виленского. М., «Наука», 1972, с. 253. Пересчитано за вычетом пиломатериала.

электроплавку значительной части производства меди, цинка и свинца для улучшения их качества. Применение методов электролиза и электротермии связано с большими расходами электроэнергии, тыс. кВт·ч/т:

Алюминий	15—17
Хлор	2,8—3,2
Желтый фосфор	12—16
Никель	36—70*

Проведенные в институте «Энергосетьпроект» расчеты показывают, например, что при переходе от шахтной плавки цинка к так называемой кивцетной плавке расход электроэнергии возрастает.

Применение электротехнологии для улучшения качества традиционной продукции также экономически эф-

* В зависимости от метода производства, сырья и количества переведенных на электроэнергию стадий переработки концентрата и полупродукта,

фективно. Если даже по приведенным затратам на 1 т основного продукта кивцетная плавка окажется более дорогой по сравнению с шахтной, то при замене последней она окупится повышением выхода ценных побочных продуктов и снижением затрат на единицу суммарной товарной продукции этого процесса. Электроплавка меди и свинца в ряде случаев оказывается дешевле других способов плавки. Так, в 1962 г. была испытана содовая электроплавка горевских полиметаллических концентратов. Ее результаты позволили оценить, что строительство электротермического завода на 100 тыс. т свинца в год будет на 9 млн. руб. дешевле по сравнению с другим вариантом. Внедрение электроплавки медных шликеров с сульфатом натрия обеспечило получение экономического эффекта в размере 0,5 млн. руб. в год на установку. На Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате внедрены новые электроспособы получения свинца и цинка. Переработка цинковистых возгонов с прямой конденсацией цинка в жидкий металл обеспечила получение 14 руб. дополнительной прибыли на 1 т возгонов [Л. 73].

В черной металлургии, очевидно, должен осуществляться опережающий рост производства электростали, а для получения металла особо высокого качества, — некоторых видов переплавов, прежде всего электродугового и электрошлакового, которые в дальнейшем получат широкое развитие.

Расчеты показывают, что с опережающим развитием электроемких материалов в перспективе будет связано около 50% всего прироста потребления электроэнергии в промышленности. Будет продолжаться использование электроэнергии для термических процессов и в других отраслях промышленности, там, где электротехнология способствует улучшению качества продукции и условий труда: для плавки черных и цветных металлов, нагрева заготовок и термообработки металла в машиностроении, термообработки изделий из реактопластов, выпечки хлебобулочных изделий и т. п.

Известным способом улучшения физико-механических и других свойств изделий из фенопластов является их термообработка. Она позволяет устранять дефекты, которые образуются в изделии в процессе их изготовления. Как показал опыт, обработка изделий токами высокой частоты значительно более производительна, чем

требующая длительного времени термообработка с использованием конвекционного нагрева [Л. 37].

Для улучшения качества хлебобулочных изделий все в большей мере будет применяться выпечка их в камерных электропечах или в печах, работающих на токах сверхвысокой частоты. Хотя капитальные затраты на оборудование при использовании электроэнергии могут быть в 1,3—1,5 раза больше, чем в сравниваемых вариантах, качество, однородность получаемых изделий, а также санитарное состояние производства позволяет отдавать предпочтение электротехнологии.

На первом этапе развития электрификации нет предпосылок для широкого использования электроэнергии в низкотемпературных процессах. Вместе с тем эффективны уже сейчас, например, технологическое кондиционирование воздуха в ряде отраслей промышленности, электронагрев железобетонных изделий, заменяющий менее эффективную пропарку, а в сельском хозяйстве — создание микроклимата в ряде животноводческих помещений (бройлерные, выращивание поросят и молодняка крупного рогатого скота).

В настоящее время эксплуатируется значительное число установок с электронагревателями железобетонных изделий. Опыт их эксплуатации показал, что кассеты с низкотемпературными электронагревателями в отличие от кассет с паропроводом обеспечивают большую точность заданного температурного режима твердения изделий, равную удельную мощность и равномерное температурное поле на поверхности тепловой стенки. Высокая эффективность электропрогрева железобетонных изделий определяется, в частности, тем, что тепловой к. п. д. установок, где тепло подается непосредственно в массу бетона, составляет 60—75%, тогда как при пропаривании тепловой к. п. д. не превышает 25—30%. По имеющимся расчетам в крупнопанельном домостроении общей мощностью 19 млн. м² в год при 50% выпуска изделий с электропрогревом их общий годовой выпуск составит 5—6 млн. м³. Расход электроэнергии на тепловую обработку 1 м³ сборного железобетона составляет 75—180 кВт·ч. Это соответствует годовому потреблению электроэнергии 500—600 млн. кВт·ч. Установки электронагрева могут быть эффективными потребителями — регуляторами графика нагрузки энергосистемы. При расчетной стоимости электроэнергии

1 коп/кВт·ч энергетической составляющая затрат, равная 0,75—1,8 руб/м³, оказывается ниже, чем при паровом прогреве железобетонных изделий (1,2—3,5 руб/м³). Применение электронагрева позволяет обеспечить экономию около 10—15% приведенных затрат на 1 м³ изделий при более высоком качестве продукции. Срок окупаемости капиталовложений с учетом капиталовложений в электростанции при их работе по свободному графику равен 1,5—2 года¹.

Важным направлением использования электроэнергии будет кондиционирование воздуха. Несмотря на то что в СССР выпускается около 50 типоразмеров кондиционеров, размеры их производства далеко не обеспечивают растущие нужды народного хозяйства. В конце VIII пятилетия потребность в кондиционерах удовлетворялась только на 25—30% [Л. 38, с. 46]. В связи с этим на предстоящем этапе будет развиваться преимущественно технологическое кондиционирование воздуха, когда технологический процесс:

не может быть осуществлен без специфических условий воздушной среды, обеспечиваемых системами кондиционирования. Такие строгие технологические требования к параметрам воздушной среды предъявляются следующими отраслями и производствами (табл. 9-8):

без кондиционирования воздуха осуществим, но условия воздушной среды существенно влияют на качество продукции — брак, сортность и др. (табл. 9-9).

Размеры потребления электроэнергии для кондиционирования воздуха будут зависеть при этом не только от возможности производства оборудования для систем кондиционирования, но и от его структуры (компрессионные, абсорбционные на базе электроэнергии, парожеткорные и т. д.).

Как отмечалось, применение специализированных электроустановок для получения низкотемпературного тепла (электрокалориферов, инфракрасных излучателей, греющих полов и греющих ковриков) позволяет получить в животноводстве, особенно при выращивании молодняка, большой технологический эффект. Если этот эффект оценивать даже не по замыкающим приведенным затратам на производство сельхозпродукции, а по ее средней себестоимости, то все равно полностью оку-

¹ Интенсификация производства деталей крупнопанельных домов путем электрообработки (Информационный обзор). М., 1971.

**Технологические требования к параметрам воздушной
среды отраслей и процессов, которые не могут
осуществляться без кондиционирования воздуха¹**

Наименование отраслей и процессов	СССР		США	
	<i>t</i> , °C	Отно- сительная влаж- ность	<i>t</i> , °C	Отно- сительная влаж- ность
<i>Электронная промышленность</i>				
Изготовление приемно-усили- тельных ламп	24±2	55±5	20	40
Производство полупроводников	24±2	55±5		
Сборка электроаппаратуры			22—24	40—63
<i>Машиностроение</i>				
Точная обработка	20	45—50	24—27	35—50
Точная шлифовка			24—27	35—45
Калибрование			26	50
Производство искусственного волокна	25	50—60	27	60—75
<i>Оптическая промышленность</i>				
Шлифование линз	24	80	27	80
Плавка стекла	24	45	24	45
<i>Хлебопекарная промышленность</i>				
Брожение теста	25,6—26,7	70—80	24—27	70—75
Расслойка теста	30—32	75—80		
<i>Кондитерская промышленность</i>				
Производство конфет	25	60—75	27—30	40—45
Производство карамели	18—22	не > 50		
Расфасовка шоколада	15—18	не > 65		
<i>Текстильная промышленность</i>				
Хлопчатобумажное производ- ство	22—28	50—75	24—30	55—80
Шерстяное производство	23—28	50—75	24—30	50—70
Производство натурального шелка	22—28	50—70	27	60—70
<i>Театры, концертные залы</i>	24	50—55		
<i>Музеи</i>	20—25	40—50	21—27	40—50

¹ "Кондиционирование воздуха в промышленности". Тематический сборник научных трудов. М.: 1973. 111 с. (ВЦИОТ). Как видно из приведенных данных, в СССР и США требования к параметрам воздушной среды разные. Это определяется различиями в структуре продукции, а возможно, и климатом. В СССР нормируемые параметры значи-тельно жестче, чем в США.

падают дополнительные затраты, связанные с электро-теплоснабжением¹. Сравнение двух систем теплоснабжения птицеводческой фермы — от электрообогреваемого пола и калорифера и теплогенератора ТГ-250 — применительно к условиям Дальнего Востока дано в табл. 9-10.

Таблица 9-9

Показатели эффективности изменения параметров воздушной среды

Производство	Изменение температуры воздуха, °C		Эффект
	от	до	
Прядильный цех фабрики „Красная Талка“, г. Иваново	30,4	25,6	Повышение производительности оборудования на 4%, снижение обрывности нити на 80%
Прядильные производства США	Изменение относительной влажности воздуха с 40 до 70%		Снижение обрывности нити в 6 раз
Прядильные и ткацкие цехи Ташкентского хлопчатобумажного комбината	35	40	Увеличение количества тканей 1-го сорта на 15%
Папироснонабивной цех Чайные фабрики	При кондиционировании То же		Снижение потерь табака в 1,35 раза Улучшение и интенсификация технологических процессов

Следует отметить, что расходы электроэнергии для обогрева воздуха и полов в тех объектах животноводства, где эффективна электрификация тепловых процессов, весьма велики, хотя электроэнергия и обеспечивает снижение расходов тепла на 30—70% по сравне-

¹ Значение технологического эффекта по себестоимости замещаемой продукции составляет: на 100 поросят (сохранность) 168 руб.; на 1 свинью (увеличение привеса и экономия кормов) 10 руб.; на 1 теленка (увеличение привеса) 28 руб.; на 1 курицу-несушку (увеличение яйценоскости и экономия кормов) 1,7 руб. [Л. 79].

ний с расчётными значениями. По имеющимся данным они составляют: 750—850 кВт·ч на свиноматку при обогреве полов свинарников-маточников; 160—190 кВт·ч на 1 ц привеса при обогреве полов свинооткормочных ферм; 200—250 кВт·ч на свиноматку при местном обогреве инфракрасными излучателями; 100—130 кВт·ч на одного теленка при обогреве полов в телятниках; 8—10 кВт·ч на одну несушку на птицеводческих фермах. По экспертной оценке суммарная потребность в электро-

Таблица 9-10

Сравнение систем отопления птицеводческой фермы на 10 тыс. цыплят¹, руб.

Показатели	Электрообогрев пола и калорифер	Теплогенератор ТГ-250
Расход электроэнергии, кВт·ч	250 000	26 000
Расход тепла, Гкал	—	250
Капиталовложения	4662	1379
Эксплуатационные расходы	414	4520
В том числе:		
зарплата	34	3320
амортизация и текущий ремонт	380	150
стоимость соломенной подстилки	—	1050
Всего постоянные приведенные затраты	974	5686
Стоимость электроэнергии, руб [при 3 коп/(кВт·ч)*]	7500	780
Стоимость тепла при 5 руб/Гкал	—	1250
Общие приведенные затраты (округленно), руб.	8470	7730
Годовой технологический эффект от снижения падежа птицы с 8 до 3,4%, руб.	1900	
Общие приведенные затраты с учетом технологического эффекта, руб.	6600	7730

¹ Использованы данные сборника "Электротеплоснабжение быта и сельскохозяйственного производства" (Тезисы докладов). Рига, 1974, с. 156.

* Приведенные затраты франко-потребитель.

энергии на обогрев животноводческих помещений — в пределах экономической эффективности применения электротехнологий — для уровня развития сельскохозяйственного производства, соответствующего 1975 г., могла бы составить примерно 30—35 млрд. кВт·ч.

В общем расходе электроэнергии заметный удельный вес составляют осветительные нужды, %:

Цветная металлургия	1
Черная металлургия	2—3
Химия	2—3
Машиностроение	5—7
Легкая промышленность	11
Жилые здания	30
Сфера обслуживания, всего	25
В том числе в сельской местности	До 50

Дальнейший рост потребления электроэнергии на эти цели определяется увеличением освещаемых площадей, а также ростом качества и повышением уровня освещенности. Экономическая эффективность повышения освещенности (табл. 9-11) дана по материалам В. С. Матлиса.

Необходимо отметить, что в настоящее время уже около 80% источников света в промышленности и на предприятиях сферы обслуживания представлены высокоэкономичными люминесцентными лампами с к. п. д. 8—10%. Поэтому дальнейший рост к. п. д. источников света будет относительно небольшим. Вместе с тем увеличение доли источников местного освещения приведет к экономии электроэнергии на 20—50%, при достижении одного и того же уровня освещенности рабочих поверхностей. В целом можно ожидать рост удельных расходов электроэнергии на единицу освещенной поверхности в 1,5—2 раза. В отдаленной перспективе, по-видимому, расход электроэнергии на освещение увеличится в еще

Таблица 9-11

Эффективность повышения уровня освещенности по отечественным данным¹

Производство	Освещенность, люксы		Увеличение производительности труда, %
	до улучшения	после улучшения	
Льнокомбинат	50	100	5,35
Уральские машиностроительные заводы:	100	300	5,5
ручные операции	40	75	1,3
механизированные операции	300	600	0,7
Механический цех завода «Электросила»	75	300	10

¹ Техничко-экономические исследования в промышленном строительстве. Сборник статей. Вып. 22, М., 1971, 91 с. (Госстрой СССР).

большей степени. Это обстоятельство в связи с относительно небольшим количеством электроэнергии, превращаемым в свет, и значительных тепловых потерях в источниках света заставляет рассматривать электроосвещение в перспективе в качестве заметного источника вторичного тепла. В странах и районах с мягким климатом, например Франции и Италии, тепло, выделяемое светильниками, составляет от 20 до 80% количества энергии, которое требуется для отопления зданий.

9-2. РАЗВИТИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

При широком развитии АЭС и связанного с этим снижении замыкающих затрат на электроэнергию по отношению к стоимости других энергоносителей экономические показатели электрификации могут быть улучшены. В этих условиях размеры и области использования электроэнергии будут определяться: переходом от комплексной механизации к широкой автоматизации производства; применением новых электрических методов обработки материалов; началом электрификации низкотемпературных процессов в промышленности, быту и сфере обслуживания. В ряде отраслей промышленности использование электроэнергии в этот период будет частично связано с отказом от традиционных и постепенным переходом к принципиально новым технологическим схемам и организационным формам производства. Это в первую очередь относится к черной металлургии.

В мировой практике до сих пор преобладала тенденция сооружения крупных металлургических комбинатов с доменными печами большого объема—до 4—5 тыс. м³. Это особенно характерно для СССР и Японии. В последнее время сверхмощные доменные печи стали строиться также в ФРГ, Франции, Англии. Высокий уровень концентрации производства при небольшом числе комбинатов позволяет значительно снизить издержки при производстве металла. Вместе с тем в последние годы начали появляться так называемые «мини-заводы» с годовым производством 50—500 тыс. т стали. Издержки производства здесь пока выше, чем на крупных комбинатах, однако они компенсируются более низкими капиталовложениями и резким снижением затрат на транспорт сырья, топлива и готовой продукции. Появле-

ние таких заводов стало возможным с развитием переплавного электросталеплавильного производства. В последнее время оно связывается с процессами прямого восстановления железа, минуя топливоемкое и капиталоемкое доменное производство.

Как известно, черная металлургия является крупнейшим потребителем энергии. Доля энергетических затрат, из которых до 80% приходится на особенно дорогостоящий кокс, на основных стадиях металлургического передела составляет 40—50%. В то же время развитию бездоменного производства способствуют и современные тенденции в развитии сырьевой базы черной металлургии: переход на окатыши привел к созданию материала, пригодного для прямой выплавки металла, минуя доменный процесс¹. Важными факторами развития процессов прямого восстановления железа являются также необходимость охраны природной среды, возможность получения восстановительного газа в энергохимических комплексах на базе атомных реакторов и использования для восстановительных процессов практически любого топлива.

В 1973 г. мировое производство губчатого железа составило примерно 5 млн. т, в США — ФРГ, Мексике, Швеции, Венесуэле и других странах. Ожидается, что в 1980 г. будет произведено 40—60 млн. т, а еще через 20 лет — более 400 млн. т. При этом предполагается, что уже в ближайшее время единичные мощности установок, которые в значительной мере определяют экономику процесса, возрастут до 1—3 млн. т. По данным журнала «Айрон анд Стил Индастри» (1973, 46, № 3) капитальные затраты на завод, производящий 3,6 млн. т/год жидкой стали, составляют при классической технологии 169 млн. долларов, в том числе в доменное производство 66 млн. долларов и кислородно-конверторное 59 млн. долларов, а по новой технологии («Пурофер») 166 млн. долларов, в том числе собственно восстановление в кипящем слое 57 млн. долларов, электропереплав губчатого железа в дуговых печах 52 млн. долларов. Стоимость производства губчатого железа, жидкого чугуна и стали по этим же данным видна из табл. 9-12 и 9-13.

¹ Мировое производство всех окатышей развивается быстро: в 1955 г. 7,5 млн. т, 1971 г. 150 млн. т, прогноз для 1980 г. 300 млн. т.

Себестоимость губчатого железа и жидкого чугуна

Статьи затрат	Цена, долл/ед.	Губчатое железо		Жидкий чугун	
		Коли- чество	Стои- мость	Коли- чество	Стои- мость
<i>Шихта</i>					
Железная руда с 65% Fe, т	11,05	1,56	17,25	1,45	16,02
Марганцевая руда, т	24	—	—	0,04	0,96
Известняк, т	3	—	—	0,185	0,56
Шлак (продажа на сторону), т	1,4	—	—	0,20	—0,28
Итого шихта					
			17,25		17,26
<i>Энергия</i>					
Доменный кокс, т	35	—	—	0,404	14,14
Мазут или другое топливо, т	25	—	—	0,150	3,75
Природный газ, тыс. ккал	2,20	1,60	3,52	—	—
Тепло атомного реактора, тыс. ккал	1,44	1,32	1,90	—	—
Электроэнергия, кВт·ч	(0,005)	120	0,60	10	0,05
Отходящий газ (продажа на сторону), тыс. ккал	2,20	0,25	—0,55	0,66	—1,45
Итого энергия					
			5,47		17,57
<i>Эксплуатационные затраты</i>					
Кислород, м³/т	0,013	20	0,26	60	0,78
Огнеупоры			0,20		0,70
Вода, пар, химикалии			0,93		1,00
Рабочая сила, чел/т	4,25	0,14	0,60	0,188	0,80
Ремонт (0,05 от капзатрат)			1,90		1,90
Амортизация (0,15 от капзатрат)			5,70		5,70
Итого эксплуатационные затраты					
			9,29		10,88
Общие затраты, долл/т					
			32,30		45,71

При получении металла в виде губчатого железа, его качество однозначно требует передела железа в сталь с помощью электродуговой плавки. При этом получается достаточно дешевая и качественная продукция. Применение метода прямого восстановления железа при экономии живого труда обеспечивает существенное снижение эксплуатационных затрат. При этом экономится около 0,3 т кокса и свыше 100 кг мазута на 1 т стали. Эта экономия достигается, однако, суще-

Суммарные затраты на получение стали

Стагги затрат	Цена, долл./ед.	Прямое восстано- вление—элек- тродуговые печи		Доменная печь— кислородные конверторы	
		коли- чество	долл./т	коли- чество	долл./т
<i>Шихта</i>					
Жидкий чугун ¹ , т	17,26	—	—	0,80	13,80
Губчатое железо ¹ , т	17,24	0,85	14,65	—	—
Скrap, т	35	0,20	7,00	0,30	10,50
Известь, добавки и сплавы			4,30		2,90
Итого шихта			25,90		27,20
<i>Энергия</i>					
Жидкий чугун ¹	17,57	—	—	0,80	14,00
Губчатое железо ¹	5,47	0,85	4,65	—	—
Электроэнергия, кВт·ч	0,005	550	2,75	30	0,15
Итого энергия			7,40		14,15
<i>Эксплуатационные затраты</i>					
Жидкий чугун ¹ , т	10,88	—	—	0,80	8,705
Губчатое железо ¹ , т	9,29	0,850	8,10	—	—
Кислород, м ³	0,013	6	0,08	55	0,715
Огнеупоры			2,00		0,70
Электроды, кг	0,6	5	3,00	—	—
Вода, пар, химикалии			1,60		1,60
Рабочая сила, чел.	4,25	0,235	1,0	0,106	0,45
Ремонт ¹			0,725		0,825
Амортизация ¹			2,175		2,475
Итого					
Эксплуатационные затраты			18,73		15,47
Общие затраты			52,08		56,82

¹ Доля от затрат на производство (см. табл. 9-12).

ственным увеличением потребности в электроэнергии, составляющим примерно 600 кВт·ч на 1 т жидкой стали. Первый в СССР завод по прямому восстановлению железа (Оскольский электрометаллургический) будет строиться в десятом пятилетии.

В соответствии с решениями XXV съезда КПСС значительное развитие в перспективе будут иметь новые

Улучшение качества продукции при электрошлаковом переплаве¹

Продукция	Причина отбраковки. Проблемы при обычном изготовлении	Улучшение в результате электрошлакового переплава
Шарикоподшипниковая сталь, валки	Гарантированная чистота рабочей поверхности	Улучшенная карбидная сегрегация. Низкая склонность к растрескиванию при закалке
Диски турбин	Неметаллические включения. Необходимость больших обжатиий. Склонность к образованию сегрегаций в центре	Значительное уменьшение отбраковки. Более однородные механические свойства. Большая пластичность
Штампы	Плохая полируемость и обрабатываемость	Возможно использование литых штампов. Большая твердость и такая же пластичность
Быстрорежущая инструментальная сталь	Расслаивание благодаря определенным продольным волокнам. Недостаточная однородность. Плохая горячая деформируемость	Высокая прочность после термообработки при той же пластичности
Нержавеющие стали	Недостаточная полируемость. Качество поверхности. Малая степень чистоты	Ковкость с более высоким содержанием углерода. Более однородное распределение карбидов. Большая коррозионная стойкость. Улучшенная чистота в отношении нитридов. Пластичность
Высокожаропрочные стали	Неметаллические включения. Более высокая пластичность в поперечном направлении	Низкая деформация, высокая ударная прочность
Толстые листы	Неметаллические включения. Сегрегации в центре, расслоение. Свариваемость	Меньшее обжатие, более высокая ударная вязкость

¹ Электрошлаковый переплав, вып. 2. Киев, «Наукова Думка», 1974. 238 с.

методы высокотемпературного получения качественных металлов и материалов, в том числе электрошлаковый (ЭШП), электронно-лучевой (ЭЛП) и плазменный переплавы. Электрошлаковый и другие переплавы увеличивают срок службы изделий в 1,5—2,5 раза. Например, ресурс работы авиадвигателя вырос с 2 до 5 тыс. ч и более. В результате снижения брака на 20—30% уменьшаются отходы металла при его последующей обработке. Уже в 1973 г. синтетическими шлаками было обработано 1,7 млн. т стали. С ростом производства металла методом электрошлакового переплава области его применения расширяются. В настоящее время продукция ЭШП идет на производство подшипников, ответственных деталей и изделий в ряде отраслей машиностроения. Уже выявляются возможности использования металла ЭШП в нефтедобыче и других отраслях промышленности.

Некоторые преимущества применения ЭШП видны из табл. 9-14.

Электронно-лучевые установки позволяют получать практически любые температуры при вакууме 10^{-3} — 10^{-6} мм ртутного столба. Это дает возможность добиваться высокой чистоты обрабатываемых материалов. Эти установки относительно дороги и сложны, однако с их помощью можно получить металл такого качества, которое нельзя достичь другими методами, или проводить технологические процессы, которые невозможно осуществить на другом оборудовании, например получение монокристаллов тугоплавких металлов, или высокотемпературная термообработка. При этом резко возрастают скорости и точность обработки, что становится основой повышения производительности оборудования и миниатюризации изделий. Предельные мощности электронно-лучевых установок достигают 1700 кВт, но их к. п. д. составляет пока 5—10%. Это определяет значительные удельные расходы электроэнергии. Так, на плавку 1 т стали требуется 25 тыс. кВт·ч.

Плазменный нагрев дает возможность достигать температур 3—6 тыс. °С при различных давлениях, причем в отличие от электронно-лучевых установок — на базе относительно простого и недорогого оборудования. Ведутся работы по созданию плазмотронов мощностью в несколько тысяч киловатт для химической промышленности и в 1—2 тыс. кВт для металлургии. Это

позволит получать в плазменных плавильных печах качественный металл почти без потерь легирующих элементов в угар, осуществить прямое восстановление тугоплавких материалов из окислов, резку и сварку металлов, напыление различных материалов, а также проводить процессы химического синтеза и разложения продуктов. Плазменная технология исключительно экономична и бесспорно станет основой принципиально новой технологии будущего. Уже сегодня в СССР работает ряд опытных плавильных плазменных печей,

Таблица 9-15

Эффективность плазменно-дугового переплава¹

Показатели	Вид переплава и наименование установки		
	Плазменно-дуговой, У-403	Вакуумно-дуговой, ДСВ-3,2	Электронно-лучевой, У-254
Производительность печи, т	1094	1427	1005
Расход металла по переплаву, т/т	1,03	1,035	1,055
В том числе:			
огарок	0,025	0,033	0,025
угар	0,005	0,002	0,030
Удельная капиталоемкость, руб/т	220	327,6	533,6
Расходы по переделу, руб/т	108,8 93,4*	119,5	93,4

¹ Ройтбурд А. Н., Иванов И. Н. Бобылев В. Г. и др. Технико-экономические показатели плазменно-дугового переплава. — Металлургическая и горнорудная промышленность, 1973, № 6, с. 62—64.

* При перспективных ценах на аргон.

которые дают сталь, по качеству близкую к выплавляемой в вакуумно-индукционных печах. При этом она оказывается дешевле примерно на 100 руб. за 1 т. Плазменно-дуговой переплав по некоторым данным дешевле и других видов передела (табл. 9-15).

Плазменная плавка металла также весьма экономична, так как прямое восстановление железа из руды идет с затратами 600—800 кВт·ч на 1 т металла, т. е. с расходами гораздо более высокими, чем получение металла обычной технологией с электроплавкой в дуговых печах.

Газовая плазменная химия также связана с большими расходами электроэнергии. Однако они окупают-

ся значительным увеличением скорости процесса и соответствующим снижением капитальных затрат на получение продукции. Характерны и другие применения электрохимических методов. Так, для получения ряда важных, но относительно малотоннажных органических продуктов эффективно использовать электросинтез. К числу таких продуктов принадлежат, например: *n*-аминофенол (сульфат) (удельный расход электроэнергии на его получение составляет 26—29 тыс. кВт·ч/т); никотиновая кислота (15—20 тыс. кВт·ч); салициловый ангидрид (16 тыс. кВт·ч); глиоксиловая кислота (9,7 тыс. кВт·ч/т) и другие. В себестоимости продукции этих соединений электроэнергия составляет 6—8% и заменяет другие более дорогие восстановители (табл. 9-16).

Таблица 9-16

Стоимость некоторых восстановителей и окислителей¹

Восстановители	Эквивалентная масса, кг	Стоимость 1 кг, руб.	Стоимость 1 кг эквивалента, руб.
Электроэнергия	134	0,05	0,67
Натрий	23	2,5	57,5
Калий	39	1,3	50,7
Магний (стружка)	12,1	0,72	8,71
Цинковая пыль	32,7	0,38	12,4
Алюминий (стружка)	9	0,8	7,2

¹ Павлов В. И. и Фиошин М. Я. Электросинтез органических соединений. М., „Наука“, 1971, с. 70—71.

Продолжаются работы по совершенствованию традиционных и созданию новых электрохимических технологий, позволяющих получать массовые высококачественные продукты. Создан процесс крекинга углеводородного сырья при помощи конденсированного разряда для получения таких продуктов, как ацетилен, этилен, водород. Доказана эффективность применения электрохимического метода для получения окиси пропилена, потребность в которой для органического химического синтеза исчисляется сотнями тысяч тонн (табл. 9-17). Расход электроэнергии при производстве 1 т окиси пропилена электрохимическим методом составляет 2700—5000 кВт·ч/т.

**Технико-экономические показатели получения окиси
пропилена разными методами¹, %**

Методы	Себестоимость	Удельные капиталовло- жения	Приведенные затраты
Хлоргидридный	100	100	100
Газофазное окисление	130	145	134
Сопряженное окисление дру- гими продуктами	95—100	85—88	93—96
Эпоксидирование пропилена	91—98	65—72	83—87
Жидкофазное окисление	60—109	64—74	68—107
Электрохимический	65	63	65

¹ Штейнгарт Г., Серебряков Б., Рабкина А. Экономическая оценка направлений технического прогресса в производстве некоторых нефтехимических мономеров. — В кн.: Вопросы экономической эффективности научно-технического прогресса в химической промышленности. М., 1972, с. 39—49.

Среди новых технологических методов, которые могут получить в перспективе существенное развитие, следует отметить высокочастотный (ВЧ) и сверхвысокочастотный (СВЧ) нагревы, электрохимическую обработку, формовку и обработку материалов в электрическом и электромагнитном полях.

Значительно расширится электрификация сушки, где использование электроэнергии на нормальной частоте или в виде токов высокой частоты и инфракрасного излучения способствует резкому улучшению качества продукции. Сушка является одним из массовых термических процессов народного хозяйства: в настоящее время на нее приходится около 20% расхода технологической тепловой энергии в промышленности химических волокон, 6% в мясо-молочной промышленности, 9% в станкостроении. В хлопчатобумажной промышленности сушка тканей после окраски является одним из наиболее энергоемких процессов — 70%¹ всего технологического расхода тепловой энергии в отрасли. В настоящее время она осуществляется преимущественно за счет пара. Применение электроэнергии позволит полностью автоматизировать этот процесс, применить в более широких масштабах контрольно-измерительную аппаратуру, и тем самым установить оптимальные режимы сушки отдельных видов тканей для повышения их качества. Хотя расходы электроэнергии при электросушке воз-

растают в 6 раз — с 156 до 950 кВт·ч/1000 м², одновременно почти вдвое сокращаются трудозатраты. Преимущества электросушки при равных с паровой сушкой приведенных затратах на 1000 м² ткани (соответственно 129 и 128 руб.) обуславливают ее широкое внедрение в производство.

Большой эффект дает электросушка в бумажной промышленности. Отсутствие давления пара уменьшает нагрузку на стенки сушильного цилиндра и позволяет уменьшить его вес. Уже сложилось единое мнение о том, что наиболее рациональна установка ВЧ нагревателей в конце бумагоделательной машины, так как это обеспечивает прогрев всей толщи полотна и высокое качество сушки. Особенно важно избирательное действие ВЧ сушки, выравнивающее влажность бумаги. Важными достоинствами ВЧ сушки и инфракрасной сушки бумаги является возможность автоматизации процесса, а также повышение производительности машин на 10—50%, которое окупает затраты на установку электрооборудования в 1,5—2 года.

Низкотемпературная электрическая сушка продуктов в сельском хозяйстве (зерна, винограда и др.) позволяет обеспечить точный контроль количества вырабатываемого тепла, получить более однородный состав материала, увеличить скорость заполнения бункеров зерном, устранить потери продуктов. Практически полностью отсутствуют случаи дробления зерна, вызываемые внутренним напряжением при пересушке, характерной для использования других энергоносителей. Низкотемпературная электросушка позволяет начинать уборку отдельных культур несколько раньше, — при повышенной влажности, — и тем самым способствует снижению напряженности труда в уборочный период.

Дальнейшее развитие электрификации будет характеризоваться расширением применения электроэнергии на нужды технологического кондиционирования воздуха на промышленных предприятиях.

Следует ожидать также достаточно широкого применения комфортного кондиционирования воздуха на промышленных предприятиях и в цехах, где обычные системы вентиляции окажутся недостаточно эффективными для поддержания температурно-влажностных параметров воздуха, его газового состава и чистоты. К числу первоочередных объектов, подлежащих кондициони-

рованию, относятся: шахты по добыче угля и других полезных ископаемых (уже на глубине 750—850 м температура воздуха повышается до 27—29°C при относительной влажности 85—95%, в то время как нормы по технике безопасности допускают повышение температуры не выше 24°C, при условии, что скорость воздушной струи составляет не менее 2 м/с); горячие цехи машиностроительных и металлургических заводов, где может применяться местное кондиционирование (на рабочих местах в цехах заводов черной металлургии облучение составляет 300—18 000 ккал/(м²·ч), а в цветной металлургии и выше; температура летом достигает 40—60°C, а в некоторых зонах 70—80°C); ряд предприятий химической и текстильной промышленности с повышенной влажностью и запыленностью; закрытые пульты управления машинами и механизмами, где температура достигает 40°C, а интенсивность облучения — до 600 ккал/(м²·ч); промышленные предприятия всех отраслей в южных районах страны (Средняя Азия, Закавказье).

Расширение областей применения кондиционирования воздуха будет происходить за счет следующих факторов: повышения требований к уровню производственного комфорта; увеличения производства оборудования для систем кондиционирования воздуха в количествах, достаточных для удовлетворения потребностей народного хозяйства¹; доработки и промышленного освоения новых высокоэффективных конструкций холодильных машин, в том числе полупроводниковых агрегатов.

Эффективность применения комфортных систем кондиционирования для здоровья трудящихся может быть проиллюстрирована данными табл. 9-18. Как видно из таблицы, продолжительность периода нетрудоспособности за счет внедрения кондиционирования может быть снижена в расчете на 100 работающих на 500—540 дней

¹ По данным ГПИ «Промстройпроект» Госстроя СССР и ВНИИ «Кондвентмаш» Минстройдормаша СССР необходимый выпуск кондиционеров с учетом нового промышленного строительства и реконструкции существующих предприятий применительно к ныне действующим гигиеническим и технологическим нормативам должен быть увеличен по сравнению с существующим уровнем в 10 раз [см. Тетеревников В. В., Павлухин Л. В. Кондиционирование воздуха для улучшения условий труда. — В кн.: Кондиционирование воздуха в промышленности. М., 1973, с. 5—7 (ВЦИОТ)].

Таблица 9-18

Сопоставление характеристик заболеваемости в цехах с обычной вентиляцией и кондиционированием воздуха на примере ряда предприятий (на 100 работающих)¹

Заболевания	Число случаев нетрудоспособности		Продолжительность нетрудоспособности, дни	
	Вентиляция	Кондиционирование	Вентиляция	Кондиционирование
Все заболевания	220,6	177,3	1740,0	1194,3
Из них:				
ангины	21,8	11,3	219,7	64,1
ревматизм	7,7	5,6	166,6	71,7
желудочно-кишечные	10,1	5,6	49,7	22,6
нервные	6,4	3,6	62,3	22,6
гипертония	5,5	5,6	49,4	37,7
фурункулы, карбункулы и т. п.	3,9	3,2	20,8	18,8

¹ Кондиционирование воздуха в промышленности. Сб. науч. трудов. М., 1973, с. 7—25 (ВЦИОТ).

в году¹. Если экспертно оценить потери государства за 1 день нетрудоспособности в 12 руб., то общий годовой эффект от применения кондиционирования составит не менее 6000 руб. на 100 человек. Кроме того, комфортное кондиционирование воздуха дает значительный технологический эффект, увеличивая производительность труда. Ниже нами рассчитано примерное минимальное значение роста производительности труда x , при котором кондиционирование воздуха становится экономически эффективным. Условный расчет выполнен для уровня 1972 г., исходя из следующих предположений: эффект от сокращения заболеваний $\mathcal{E}$ 60 руб./чел. в год; объем производства чистого продукта в промышленности Π в 1972 г. 165 млрд. руб.; численность рабочих в промышленности P 32,5 млн. чел.; производительность труда по чистому продукту на 1 занятого Π/P 5,1 тыс. руб.; площадь промышленных зданий, приходящаяся

¹ Получение этого эффекта требует серьезных работ по поддержанию качества кондиционирования воздуха и обеспечения динамического микроклимата. В противном случае, как об этом свидетельствует опыт, применение кондиционирования может привести к обратному результату — повышению утомляемости и заболеваемости, особенно нервной системы.

на 1 занятого, S приблизительно 25—30 м²; стоимость 1 м² зданий C 120 руб.; капиталовложения в систему кондиционирования воздуха K_K 30% от стоимости зданий; издержки на эксплуатацию систем кондиционирования I_K условно в размере 20% капиталовложений или 9% стоимости зданий.

Тогда $0,3CS = K_K$ или $K_K = 120 \times 30 \times 0,3 = 1080$ руб/чел.
 $I_K = 0,2K_K$, или $I_K = 216$ руб/чел.

Для определения x составляем следующее выражение

$$\frac{K_K}{x - (I_K - \partial_s)} = T,$$

где T — нормативный срок окупаемости.

Если $T = 8$ лет, получаем:

$$\frac{1080}{x - (216 - 60)} = 8,$$

или $x \approx 300$ рублей. Следовательно, для того чтобы окупалось кондиционирование воздуха, при данных условиях оно должно обеспечить рост производительности труда по чистому продукту не менее 6%. Это большая величина, равная примерно ежегодному приросту национального дохода, создаваемого в промышленности. Очевидно, что при принятых затратах на кондиционирование требование к такому росту производительности труда будет сдерживать его применение. Задача заключается поэтому в сокращении габаритов, стоимости и издержек по эксплуатации установок кондиционирования.

В системах кондиционирования воздуха электроэнергия потребляется:

на привод вентиляторов, исходя из подачи около 100 м³ воздуха в час на 1 м² площади, охватываемой кондиционированием. Расход электроэнергии при норме 0,5 кВт·ч/1000 м³ воздуха и при обслуживании кондиционированием 20% всей площади промышленных зданий для современного уровня может быть оценен в размере 30—35 млрд. кВт·ч;

на производство холода, в том случае, когда технико-экономическими расчетами доказана эффективность его получения за счет электрических, в частности компрессионных, холодильных машин. Если только 30% воздуха, подаваемого системами кондиционирования, будет охлаждаться за счет электроэнергии, то потребление ее на выработку холода для промышленного тех-

нологического и комфортного кондиционирования составило бы 14—15 млрд. кВт·ч*. В действительности эта потребность в электроэнергии будет значительно больше за счет роста в перспективе общей площади промышленных зданий и расширения областей применения систем кондиционирования воздуха, в том числе и в других отраслях народного хозяйства.

Дальняя перспектива электрификации непосредственно связана с переходом к комплексному автоматизированному производству на основе широкого внедрения кибернетических устройств. Она включает как необходимый элемент широкую электрификацию мобильных процессов в сельском хозяйстве, являющуюся непременным условием автоматического управления этими процессами. Возможно, к этому времени будет осуществлена электрификация автомобильного транспорта.

Технологической основой производства в этот период должно быть массовое развитие плазменной, квантовой и других видов новой электротехнологии. Переход народного хозяйства на квантово-плазменные процессы будет сопровождаться самой массовой электрификацией не только мобильных силовых, но, возможно, и низкотемпературных процессов, развитием комплексной автоматизации и кибернетизации. Это означает, по существу, становление новой технологии производства. Электроэнергия, обеспечивая постепенное вытеснение механических процессов обработки предметов труда более энергоемкими физико-химическими, будет способствовать созданию принципиально новой материалоёмкости производства и росту скоростей производственных процессов. Занимая доминирующее положение среди других энергоносителей, она будет обеспечивать увеличение ускорения темпов роста производительности общественного труда.

Очевидно, что необходимым условием становления этой технологии является широкое освоение новых,

* Этот расход подсчитан нами при следующих условиях: охват системами кондиционирования 20% промышленных зданий; расход холода на 1 м³ воздуха 3 ккал; годовое число часов использования холодильной установки 1500; коэффициент преобразования холодильных установок 2. Следует также учитывать, что электрические холодильные машины могут быть использованы как тепловые насосы для подачи тепла, необходимого для отопления промышленных зданий.

значительно более экономичных, чем современные, методов производства электроэнергии. В первую очередь это термоядерный синтез, а также топливные элементы и другие новые источники. Таким образом, в дальней перспективе, как нам представляется, будет разворачиваться принципиально новая энергетическая база общественного производства. Ее особенностью будет отказ от массового использования органического топлива в энергетических целях и превращения электроэнергии в основной энергоноситель для всех звеньев производства материальных благ и услуг. С помощью электроэнергии будет достигнут новый, более высокий уровень развития общественного производства.

Именно тогда полностью будет реализован предсказанный В. И. Лениным всеобщий характер электрификации страны: «Мы должны иметь новую техническую базу для нового экономического строительства. Этой новой технической базой является электричество. Мы должны будем на этой базе строить все»¹.

В соответствии со сказанным выше дальняя перспектива электрификации будет характеризоваться применением электроэнергии для массовых процессов обжига материалов и изделий; плазменной металлургии и плазмохимических процессов синтеза и крекинга; квантовой технологии, ультразвуковой техники; методов электрообработки почвы, тракторов с электродвигателями и непосредственного рыхления почвы электро-разрядами; электромобилей, электроэнергии для получения промышленного низкотемпературного тепла, в частности, для нефтехимических процессов, в целлюлозно-бумажной промышленности и т. п.; электроэнергии для создания динамического микроклимата в производственных, гражданских и жилых зданиях. В это же время следует ожидать массовое применение промышленных роботов.

Перевод на электроэнергию высокотемпературных процессов в металлургии, машиностроении, промышленности строительных материалов, включая обжиг, будет эффективным при приведенных затратах на электроэнергию, эквивалентных затратам на другие энергоносители (в расчете на единицу полезной энергии). Он определяется также требованиями комплексной автома-

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 40, с. 108.

тизаций производства, — необходимостью включения высокотемпературных процессов в общий скоростной автоматизированный поток обработки материалов. Можно поэтому полагать, что в дальней перспективе доля электроэнергии в высокотемпературных процессах приблизится к 100%. Преобладающими методами плавки и нагрева материалов будут плазменные и квантовые, обеспечивающие особенно высокие скорости протекания и чистоту процессов. Лазерная технология проникнет в новые области, в том числе горное дело для разрушения пород или предварительного термического ослабления их прочности. К основным достоинствам лазерной техники относятся: высокие к. п. д. передачи энергии обрабатываемому материалу и мощности энергопотоков (до 1 мВт на 1 см² и выше); возможность передачи энергии на расстояние, что обеспечивает дистанционное управление процессами, отсутствие шума, вибрации, а также сравнительно небольшое количество пыли и вредных газов, так как лазерный луч обеспечивает минимально необходимый объем деформации материала. В металлургии, химии и других отраслях для интенсификации физико-химических процессов будут широко использоваться ультразвуковая обработка материалов и электромагнитное безотходное формообразование материалов, обеспечивающие технологическую гибкость процессов, практически полное использование металла и материалов, улучшение условий труда.

В условиях низкой стоимости электроэнергии появляется возможность более эффективного и широкого использования таких традиционных и относительно капиталоемких химических процессов, как электролиз воды с целью получения водорода. Как известно, электролиз воды выгодно отличается от других методов получения водорода простотой и надежностью технологи-

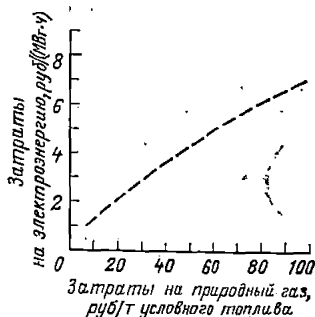


Рис. 9-3. Зоны равной эффективности применения электролиза воды (зона ниже кривой) для получения водорода и азотной кислоты по сравнению с традиционным методом пиролиза (зона выше кривой) природного газа.

**Расход энергоресурсов при разных типах двигателей
в сельском хозяйстве [Л. 54]**

Двигатель	К. п. д.					Расход энергоресурсов, кг (в условном топливе) на 1 кВт
	производства электроэнергии	распределения электроэнергии	двигатели	хозяйственный	общий	
Трактор	—	—	0,3	0,75	0,22	0,54
Электротрактор	0,4	0,85	0,75	0,95	0,24	0,52

ческой схемы, дешевизной и общедоступностью сырья. На рис. 9-3 показана зона равной эффективности производства азотной кислоты электролизом воды по сравнению с современным способом ее получения через аммиак на базе природного газа в зависимости от стоимости электроэнергии и стоимости газа. Из рисунка видно, что применение электролиза воды для получения водорода и аммиака из него может быть эффективным при резком удешевлении электроэнергии и удорожании природного газа. Очевидно, такое применение электроэнергии может стать также серьезным источником увеличения ресурсов водорода для аккумуляторной техники и мобильной энергетики.

Высокий к. п. д. электродвигателей уже сейчас обеспечивает некоторую экономию энергоресурсов при использовании электроэнергии в мобильных процессах сельского хозяйства (табл. 9-19). Однако внедрению электрических двигателей для мобильных процессов в сельском хозяйстве, как и электромобилей, препятствует в настоящее время их высокая стоимость, которая, включая стоимость передвижной электростанции и кабеля, примерно вдвое выше стоимости трактора с двигателем внутреннего сгорания. С учетом дополнительных распределительных электрических сетей (3—5 км на 1 трактор) капиталовложения на одну машину с электроприводом будут в 3—4 раза выше, чем при использовании обычных тракторов. Можно ожидать, что перспективы электрификации мобильных процессов в сельском хозяйстве, как и на автотранспорте, появятся с завершением технической отработки экономичных автономных источников тока: емких аккумуляторов или топливных элементов. При этом для ряда процессов предпосевной обработки почвы альтернативой мобильным установкам могут стать в перспективе стационар-

ные электрические устройства. В частности, уже сейчас ведутся испытания электроразрядного рыхления почвы, однако требуется еще изучение биологических последствий такой обработки почвенного слоя. Для оценки масштабов возможного использования электроэнергии в мобильных процессах сельского хозяйства можно принять следующие исходные условия: площадь пахотных земель останется на современном уровне (возможно также ее сокращение за счет промышленного и гражданского строительства), т. е. будет равна 200—220 млн. га; отношение мягкой (условной пашни) к физической 6:1; расход электроэнергии на 1 га мягкой пашни 50 кВт·ч. Тогда общий расход электроэнергии на обработку земли составит 60—70 млрд. кВт·ч. Это относительно небольшая величина, если учитывать, что современное сельскохозяйственное производство потребляет около 50 млрд. кВт·ч.

Обострившийся в последние годы интерес к электрификации автотранспорта связан прежде всего с загрязнением крупных городов выхлопными газами автомобилей. За 1 км пробега автомобиль с бензиновым двигателем выбрасывает в воздух около 100 г газообразных токсичных веществ: углеводов 20—25 г, окиси углерода 70—80 г, окиси азота 4 г [Л. 112, с. 163]. Поэтому, если не будет создан достаточно экономичный неэлектрический двигатель, не загрязняющий воздух, электромобили смогут найти применение даже в том случае, если по прямым экономическим показателям они будут хуже по сравнению с автомобилями на двигателях внутреннего сгорания. Однако улучшение экономических показателей электромобилей является первоочередной проблемой, решение которой необходимо для того, чтобы этот вид транспорта получил широкое распространение. Сегодня электромобили играют весьма незаметную роль. В Англии работает около 40 тыс. электромобилей-молоковозов, имеется небольшой парк электромобилей в ФРГ и США. По одному из прогнозов ожидается, что в ФРГ в 1980 г. парк электромобилей достигнет 1 млн. единиц, а в США к 1985 г. — 5 млн. единиц. Ведутся работы по созданию электромобилей и в СССР выпущена первая опытная их партия.

Однако на пути создания электромобиля имеются еще большие трудности, связанные с созданием емкого и дешевого аккумуляторного двигателя или полностью

автономного источника питания на топливных элементах. Сегодняшние свинцово-цинковые аккумуляторы для электромотобилля с полной нагрузкой порядка 1—1,2 т весят около 350—370 кг, т. е. в два раза больше, чем двигатель внутреннего сгорания с топливным баком. Важным показателем аккумуляторов является также их удельная емкость, определяющая при заданной массе машины и мощности запас хода. Современные аккумуляторы имеют емкость 30 Вт·ч/кг, что достаточно для обеспечения без подзарядки хода на 80—90 км. При быстрой замене аккумуляторов на заправочных станциях такой запас хода создает условия для эксплуатации служебных городских электромотобилей с ежедневным пробегом 40—60 км (подзарядка 2 раза в три дня) и такси (подзарядка 5 раз в день при пробеге 400 км в день). Для эксплуатации парка личных машин емкость аккумулятора должна быть повышена по крайней мере в 3—4 раза, или аккумуляторный двигатель должен использоваться только как дублирующий—для местных внутригородских поездок. Имеются сообщения, что фирмой «Дженерал электрик» уже создан натриево-серный аккумулятор, емкость которого при той же массе превышает емкость обычных кислотных аккумуляторов в 5 раз¹. Если такая батарея технически себя оправдает, то эффективность электромотобилля во многом будет зависеть от ее стоимости.

Можно попытаться в первом приближении оценить условия, при которых электромотобиль на основе аккумуляторного двигателя будет экономичнее автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Для этого сначала оценим примерный расход электроэнергии и бензина в сравниваемых вариантах легкового автомобиля:

	Автомобиль	Электромотобиль
Масса машины (с грузом и пассажирами), т	1,2	1,4*
Полезный расход энергии, ккал/км	120	140
К. п. д. двигателя	25	60
Полный расход энергии, ккал/км	480	235
Расход бензина, кг/км	0,05	—
Расход электроэнергии, Вт·ч/км	—	270
Расход на средний годовой пробег (20 тыс. км):		
бензина, т	1	—
электроэнергии, кВт·ч	—	5400

* Увеличение за счет массы аккумулятора.

¹ «Техника и наука», 1974, № 11.

Таблица 9-20

Эффективность применения электромобилей по сравнению с автомобилем с двигателем внутреннего сгорания

Показатели	Автомобиль	Электромобиль, варианты			
		I	II	III	IV
Стоимость автомобиля, руб.	2000	1800	1800	1800	1800
Стоимость тяговой батареи с аккумулятором	—	900	700	500	300
Стоимость зарядного устройства	—	270	210	150	90
Итого	2000	2970	2710	2450	2190
Текущие издержки, руб.:					
амортизация автомобиля	240	180	180	180	180
амортизация тяговой батареи с аккумулятором	—	180	140	100	60
амортизация зарядного устройства	—	13	10	7	5
текущее обслуживание, шины и ремонт	400	320	320	320	320
Итого	640	693	650	607	565
Приведенные затраты без затрат на топливо (округленно), руб.	880	1050	975	900	830

Дальнейший расчет (табл. 9-20) основан на следующих условиях: средняя стоимость автомобиля 2000 руб.; стоимость электромобиля без аккумулятора и зарядного устройства благодаря простоте конструкции оценивается примерно в 1800 руб., 90% стоимости автомобиля; стоимость тяговой аккумуляторной батареи по английским данным составляет до 40—50% стоимости электромобиля¹. Это значение можно принять за верхний предел стоимости, а в дальнейших расчетах рассматривать как переменное; стоимость зарядного устройства составляет по тем же данным 30% стоимости аккумулятора. Она также принята как переменная величина; амортизационные отчисления в соответствии с возможным физическим сроком эксплуатации составляют для автомобиля 12%, электромобиля 10%, тяговой аккумуляторной батареи 20%, зарядного устройства 5%, затраты на техническое обслуживание, шины

¹ Ставров О. А. Автомобили (зарубежные). Автомобилестроение, т. 1, М., 1973. 263 с. (ВИНИТИ).

и ремонт по автомобилю приняты в размере 20% его стоимости; для электромобиля они могут быть оценены в размере 80%, соответствующих затрат по автомобилю.

Учитывая, что стоимость бензина в перспективе может существенно увеличиться, можно определить, при каких его значениях использование электромобиля становится более эффективным, чем автомобиля с двигателем внутреннего сгорания (табл. 9-21 и рис. 9-4).

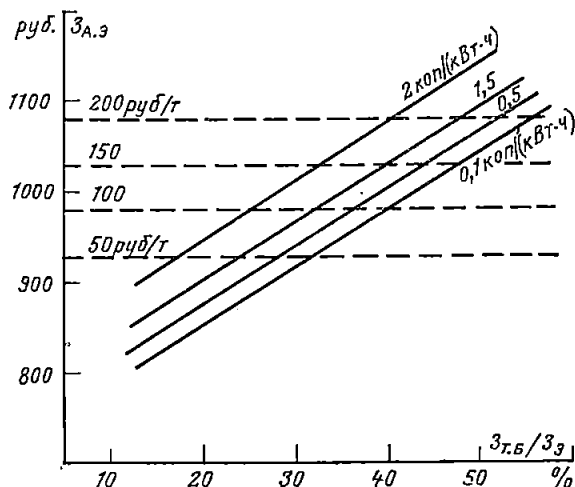


Рис. 9-4. Зона эффективного применения электромобиля. Приведенные затраты $З_{а.э}$ на создание и эксплуатацию авто- и электромобиля в зависимости от соотношения стоимости тяговой батареи $З_{т.б.}$ и электромобиля $З_э$ и приведенных затрат на бензин и электроэнергию.

— — — — — приведенные затраты на электроэнергию; — — — — — то же на получение бензина.

Расчет выполнен для пробега 10 тыс. км в год. При его увеличении использование электромобиля становится более эффективным, если стоимость бензина выше стоимости эквивалентного количества электроэнергии, так как затраты на техобслуживание растут медленнее, чем увеличивается пробег, а энергетические затраты увеличиваются пропорционально его росту.

Наиболее перспективным и экономичным источником электроэнергии для электромобилей могут быть топливные элементы, теоретическая энергоемкость которых может достигнуть по зарубежным данным 2200—

Стоимость бензина, руб/т

Стоимость электроэнергии, коп/(кВт·ч)	Стоимость тяговой батареи с аккумуляторами, % стоимости электромобиля				
	50	40	30	20	10
2	275	210	145	80	15
1	225	160	95	30	0
0,5	200	135	70	5	0

3600 Вт·ч/кг. Ожидаемая в будущем энергоемкость, например, водородно-кислородных элементов 1000—1800 Вт·ч/кг. Если учесть разницу в к. п. д., который у топливных элементов 50—70%, а у двигателей внутреннего сгорания 20—25%, то оказывается, что по всем техническим характеристикам топливные элементы могли бы превзойти двигатели внутреннего сгорания. В настоящее время ведется разработка топливных элементов, где в качестве топлива выступают водород, гидразин, метанол и пропан, а окислителями служат кислород, воздух и водород (для пропановых элементов). Однако высокая стоимость водорода и гидразина, повышенная взрывоопасность водорода (особенно в аварийных ситуациях), токсичность гидразина позволяют думать, что для мобильных установок выбор будет идти между метанолом, пропаном или каким-либо другим топливом.

Можно ожидать, что в дальней перспективе электрификации народного хозяйства проблема создания экономичных двигателей для электромобилей будет все же решена. Если будут созданы электродвигатели со значительным запасом хода и сеть станций обслуживания, в том числе станций зарядки и обмена аккумуляторов, то электромобили могут выступать как всеобщий легковой городской автотранспорт. Для ориентировочной оценки потребности электромобилей в электроэнергии необходимо установить общее количество легковых автомобилей, которое в перспективе будет определяться числом автомобилей, находящихся в личном пользовании граждан. В настоящее время в США насыщение легковыми автомобилями составляет 435 на 1000 жителей. Ожидается, что к 2000 г. оно составит 600—700 единиц. В других развитых странах число ав-

томобилей на 1000 жителей превысило 200 (например, Канада 300—310, Швеция 285—300, Франция — 250, ФРГ — 230). Ожидается, что в европейских странах к 2000 г. насыщение автомобилями достигнет 400—500 на 1000 жителей. В СССР с его развитым общественным транспортом нет необходимости иметь такую гипертрофированную насыщенность автомобилями. В проектах реконструкции городов СССР учитывается перспективная насыщенность автомобилями в размере 180—200 на 1000 жителей. Если считать ее оптимальной, то в зависимости от перспективной численности населения СССР и доли электромобилей расход электроэнергии на их работу может колебаться от 50 до 500 млрд. кВт·ч в год. Эта оценка, разумеется, не претендует на какую-либо точность, а только иллюстрирует то положение, что при благоприятных условиях потребление электроэнергии мобильным транспортом (включая возможно и грузовой автотранспорт) может составить существенную часть перспективного электробаланса страны.

В отличие от мобильного транспорта, электрификация которого, как было показано, несущественно зависит от стоимости электроэнергии, а связана с прогрессом в электродвигателестроении, применение электроэнергии на нужды технологических и санитарно-гигиенических низкотемпературных процессов прямо зависит от снижения стоимости производства и транспорта электроэнергии в перспективе. При стоимости электроэнергии по приведенным затратам 0,15—0,2 коп/кВт·ч, если она будет достигнута на новых источниках энергии, может оказаться целесообразной массовая электрификация этих энергоемких процессов. Задача создания динамического микроклимата в производственных, гражданских и жилых зданиях будет тогда решаться именно на базе электроэнергии.

Рассматривая перспективы развития электрификации в связи с созданием новых технологий производства, следует упомянуть, что применение электроэнергии в управляющих устройствах, — основа автоматизации. Особое место в этом направлении в перспективе занимает использование электроэнергии для управления промышленными роботами. По мнению ряда исследователей, применение промышленных роботов будет в будущем серьезно рассматриваться как одна из основ

технической стратегии, и поэтому следует ожидать возникновения новой отрасли промышленности по производству роботов [Л. 72]¹.

Приведенные материалы еще раз подтверждают, что уровень и масштабы электрификации страны неразрывно связаны с развитием техники и технологии общественного производства, техники самого энергетического хозяйства.

Развитие электрификации в современную эпоху является мощным рычагом технического освоения современных достижений научно-технической революции, прогресса в области электроники, кибернетики, автоматизации и химизации производства. Роль электроэнергии как фактора экономического роста, как основы социально-экономических преобразований в период построения коммунизма в СССР возрастает.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СИЛОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ²

10-1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Машиностроение является одним из крупных потребителей энергии. В общем объеме промышленного потребления энергетических ресурсов в 1965 г. машиностроение занимало 10%, расход электроэнергии составил 15%, тепла 8,9%, газа 3,5% [Л. 88, с. 71]. В 1970 г. валовая продукция машиностроения равнялась 88 млрд. руб. Электроемкость продукции машиностроения

¹ Как показало предварительное изучение, промышленные роботы пригодны для работы на вредных, в том числе грязных и пыльных участках работы. В пределах оптимальной для человека зоны (40 см от плеча) оператор манипулирует легким предметом (1,13 кг) быстрее, чем робот. При расстоянии 70 см робот действует быстрее человека. Предметы с массой 10 кг робот перемещает (особенно на большие дистанции) также быстрее человека.

² В главе сделана попытка оценки тенденции потребления электроэнергии в машиностроении и металлообработке на основе технологического метода и в тех пределах, которые допускает сегодняшнее состояние исходной информации. Методы статистической оценки электропотребления в машиностроении не затрагиваются; они рассмотрены во многих работах, и в том числе в [Л. 102, с. 164—186].

в 1970 г. оценивалась в 775 кВт·ч/тыс. руб., а к 1975 г. должна была снизиться до 650 кВт·ч/тыс. руб. [Л. 124]. Следовательно, потребление электроэнергии в машиностроении в 1970 г. может быть оценено в размере примерно 70 млрд. кВт·ч, или около 15% всего потребления электроэнергии в промышленности. В 1975 г. оно должно было достичь около 95—100 млрд. кВт·ч. Для машиностроения и промышленности в целом характерны примерно равные удельные веса энергии (без топлива) в структуре текущих затрат на продукцию. Например, в 1974 г. они соответственно составляли 2,1 и 2,5% [Л. 71].

Машиностроение включает большой комплекс технологических процессов с разнообразным характером использования электроэнергии и других энергоносителей: силовые процессы, плавку, нагрев и сварку металлов, гальванику, сушку материалов, весь набор процессов санитарно-технического назначения от освещения до летнего кондиционирования воздуха в отдельных отраслях. Машиностроение является примером многообразного применения новых энерготехнологических процессов, электрохимической и электроэрозионной обработки, лазерной техники, магнитного формования деталей и т. п. Машиностроение и металлообработка представ-

Таблица 10-1

Структура потребления электроэнергии в машиностроительных отраслях¹, %

Отрасли машиностроения	Электропривод		Технология		Санитарно-технические нужды	
	Всего	В том числе получение сжатого воздуха	Электротермия	Электролиз	Освещение	Вентиляция и кондиционирование
Тяжелое, транспортное и энергетическое машиностроение	71,0	15,9	19,1	—	6,5	3,4
Электротехническая промышленность	45,5	13,5	36,4	1,3	6,6	10,2
Автомобилестроение	64,0	16,0	19,0	6,0	5,0	6,0
Сельхозмашиностроение	53,1	18,6	42,0	—	4,9	—

¹ Энергетика СССР в 1971—1975 годах. Под ред. А. С. Павленко и А. М. Некрасова. М., «Энергия», 1972, с. 50.

ляют собой сложную систему разнородных отраслей, выпускающих продукцию многообразного назначения, различной капиталоемкости, трудоемкости и энергоемкости. Так, удельные расходы электроэнергии в отдельных производствах разнятся в несколько раз: от 400—500 кВт·ч на 1000 руб. валовой продукции в некоторых приборостроительных производствах до 2000—3000 кВт·ч в тяжелом машиностроении. Весьма различны отдельные отрасли по структуре потребления электроэнергии (табл. 10-1).

Уровень электрификации машиностроения примерно соответствует средним значениям уровня электрификации в промышленности (18—19%). Однако он значительно колеблется по отраслям и подотраслям машиностроения, отражая особенности их технологии и различия в характере выпускаемой продукции. Так, в станкостроении уровень электрификации равен 22—25%, а в так называемых межотраслевых предприятиях этой же отрасли он был в 1970—1975 гг. не более 10—12%.

Значительные различия в технологической структуре отраслей машиностроения и металлообработки предъявляют особые требования к измерителю продукции, на который следует рассчитывать удельные расходы электроэнергии. Очевидно, таким измерителем не может быть выпуск продукции как в натуральном выражении вследствие многообразия номенклатуры отрасли, так и в денежном выражении из-за невозможности проследить в этом случае движение продукции по технологической цепочке. Такие показатели, как энергоемкость и электроемкость на рубль продукции, могут применяться лишь для грубой оценки потребности в электроэнергии и служить лишь как контрольные. Представляется, что в качестве измерителя удельной потребности в электроэнергии и других энергоносителей в машиностроении следует принять потребляемый в отрасли металл. Он является здесь основным предметом труда и позволяет достаточно точно оценить теоретические и фактические расходы энергии, необходимые для всех видов его обработки.

В связи с этим интересно рассмотреть схему и масштабы движения металла по технологической цепочке его обработки (рис. 10-1). Эти ориентировочные показатели получены в основном по работе А. М. Поляка [Л. 82]; ряд данных оценок нами экспертно. Следует

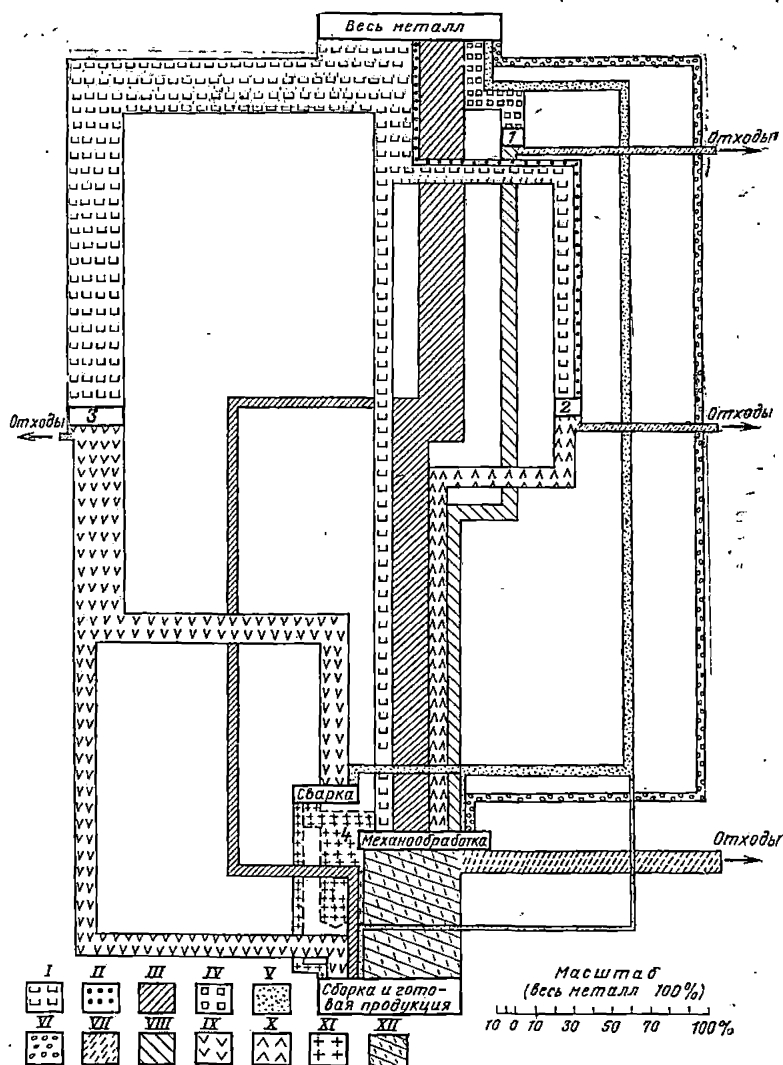


Рис. 10-1. Ориентировочный баланс металла в машиностроении и металлообработке.

Пределы: 1 — стальное литье; 2 — горячая поковка и штамповка; 3 — холодная штамповка. Виды металла: I — готовый прокат; II — слитки стальные; III — чугунные отливки; IV — сталь на литье; V — трубы; VI — метизы; VII — отходы; VIII — стальные отливки; IX — холодные штампованные детали; X — горячие поковки и штамповки; XI — металлоконструкции (4 — готовые металлоконструкции, учтены в продукции механообработки и даются на рисунке без масштаба); XII — продукция механообработки.

также иметь данные о структуре потребления электроэнергии в разных типах машиностроительных производств (табл. 10-2).

Таблица 10-2

Структура потребления электроэнергии на машиностроительных предприятиях¹, %

Статьи расхода	С полным технологическим циклом	С неполным циклом	
		С литейным производством	Без литейного производства
Металлургическое производство	47	—	—
Электротермические процессы	15	42	17
В том числе:			
плавка металлов	4	22	—
нагрев и термообработка	8	15	17
сварка	3	5	—
Металлообрабатывающие станки	11	20	42
Подъемно-транспортные механизмы	3,5	4	5
Производство сжатого воздуха, кислорода, тепло-снабжение, вентиляция	16	25	21
В том числе:			
сжатый воздух, кислород	13	21	16
водоснабжение, тепло-снабжение	2	2,5	3
вентиляция	1	1,5	2
Освещение	1,5	2,5	8
Потери в питающих и внутрицеховых сетях	4	4	5
Прочие	2	2,5	2

¹ Справочник по электропотреблению в промышленности, М., «Энергия», 1969, с. 358.

Однако эти данные недостаточны. Необходимо хотя бы ориентировочно оценить следующие составляющие общего расхода электроэнергии. По силовым процессам: на обработку металлов и материалов раздельно резанием и давлением; по силовым процессам в литейных цехах: на подъемно-транспортные работы и малую механизацию. По термическим процессам: на плавку черных и цветных металлов, нагрев металлов под обработку давлением (горячая штамповка и ковка), термообработку металлов, нагрев и плавку абразивных ма-

териалов, электролиз, сушку. Так как статистические данные для определения потребления электроэнергии на эти нужды отсутствуют, требуемая структура потребления электроэнергии может быть приблизительно оценена косвенным путем, в том числе на основании данных о количестве обрабатываемого металла и удельных расходах на его обработку в различных процессах, парке установленного оборудования и его использовании.

Число единиц парка оборудования на 1 млн. руб. валовой продукции станкостроения составляло, например, в 1967—1968 гг. [Л. 75, с. 98]: все металлорежущие станки 43,5, в том числе токарные 8,8, сверлильные 6,5, фрезерные 6, расточные 2,2, строгальные 1,8; прессы 0,53, молоты 0,3. Существует достаточно четкая тенденция уменьшения удельного числа металлорежущего оборудования на 1 млн. руб. продукции, кроме прессов, количество которых возрастает.

Для машиностроения и металлообработки в СССР характерно невысокое годовое число часов использования установленной мощности силового аппарата, которое, например, в 1970 г. составляло в целом по отрасли 780. Это определяется рядом факторов, прежде всего низкими коэффициентами использования оборудования по мощности, по времени в течение смены, а также относительно низким коэффициентом сменности работы оборудования. По данным статистических обследований за 1960—1969 гг. этот коэффициент систематически снижался и в 1969 г. составил по металлорежущим станкам 1,33, а по кузнечно-прессовому оборудованию 1,4 [Л. 32]. Для оценки использования силового аппарата в машиностроении, по литературным данным и рекомендации специальной методики [Л. 57] можно принять следующие коэффициенты для оборудования:

	Металло- режущие станки	Кузнечно- прессовое	Литейное	Подъемно- транспорт- ное
Коэффициент использования мощности	0,6—0,7	0,6—0,7	0,55—0,65	0,45—0,55
Коэффициент одновременности	0,95	0,75	0,9	0,45
Коэффициент использования по времени	0,55	0,65	0,6	0,7
Общий коэффициент использования си- лового аппарата	0,32—0,37	0,32—0,33	0,32—0,33	0,15—0,16

Потребление электроэнергии на металлорежущие станки можно оценить также по количеству стружки, образующейся в металлообрабатывающих цехах, и удельному расходу на единицу снимаемой стружки.

Полезный расход электроэнергии на 1 т стружки зависит от ее толщины и оценивается по станкам, кВт·ч/т:

Токарным	100—200
Фрезерным	360—500
Шлифовальным	3000—4000

Известно, что подавляющая часть стружки получается сегодня на токарных станках, значительно меньшее количество на фрезерных и менее 10% на шлифовальных станках. Полезный расход энергии составляет от полного расхода по нашим оценкам около 25—30%. Это объясняется тем, что в отечественном машиностроении многие годы серьезное внимание уделялось повышению скоростей резания металла и обеспечению больших подач резца. В результате увеличилась производительность станков, но сократилось машинное время обработки деталей, которое составляет в общей сложности не более 60% полного рабочего времени станка [Л. 32]. Необходимо также учесть значительные расходы электроэнергии на пусковые операции, возвратный ход, потери энергии в моторе и редукторе, составляющие до 20% и выше, особенно при низкой загрузке станков. В этой связи, например, весьма характерен приведенный М. И. Треховым энергетический баланс протяжного станка. На полезную работу здесь идет только 16% всей потребленной электроэнергии, 44% составляют потери холостого хода за вспомогательное время, 24% — те же потери за основное (машинное) время, 8% — затраты на холостой ход протяжки, 8% — на возврат протяжки [Л. 110, с. 44].

Интересны сложившиеся соотношения в удельных расходах силовой электроэнергии на 1 т металла в различных областях обработки металла, полученные нами на основе ориентировочных расчетов (в %, к расходу на 1 т металла на металлорежущих станках): по кузнечно-прессовому оборудованию (на 1 т металла, идущего на поковки и штамповки) 120%; литейному оборудованию (на 1 т отливок из чугуна и стали) 55—60%; в целом по силовому оборудованию на 1 т черных металлов, используемых в машиностроении, 120%.

Для определения объема потребления электроэнергии в термических процессах необходимо знать долю металла, выплавленного и нагреваемого в электропечах, и удельные расходы электроэнергии по отдельным

процессам. При отсутствии последних они могут быть оценены по мощности электротермического оборудования и теоретическому расходу электроэнергии. В этом случае важно использовать материалы выборочных обследований работы электропечей различных типов.

В настоящее время в электропечах выплавляется большая часть всей стали, получаемой в машиностроении, 5%, литейного чугуна, все абразивные материалы. Последние получают только в электропечах, обеспечивающих необходимые для этого процесса высокие температуры. Нагрев металла под ковку и штамповку в машиностроении ведется в основном в пламенных печах, доля электронагрева незначительна¹. Напротив, нагрев металла под термическую и химико-термическую обработку, предъявляющую особенно высокие требования к режимам процесса, осуществляется преимущественно в электропечах разных типов.

В СССР на 1 апреля 1962 г. в машиностроении находилось в работе 50 тыс. термических печей, в том числе 40 тыс. электрических и 10 тыс. пламенных. После 1962 г. выпуск электропечей был значительно увеличен². Однако газовые печи в среднем имеют большую производительность, чем электрические.

Удельные расходы электроэнергии на плавку и нагрев можно оценить в следующих размерах: плавка стали 660—680 кВт·ч/т исходного сырья и выше³, плавка чугуна 600 кВт·ч/т отливки, нагрев металла под горячую деформацию 500 кВт·ч/т. Средние расходы электроэнергии на отдельные виды термообработки при существующих к. п. д. электроустановок составляют:

	Температура процесса, °С	Расход электроэнергии, кВт·ч/т
Отжиг	700—900	600
Нормализация	850—1000	400
Закалка	850—1000	400
Отпуск	135—650	160

¹ В 1960 г. по массе поковок менее 2%, 1965 г. 6%, 1970 г. 10% [Л. 94].

² Смирнова В. А., Уткина Л. Д., Друговская Л. Б. Сравнение технико-экономических показателей работы пламенных и электрических печей. — В кн.: Печи и сушила машиностроительной промышленности. Вып. 19. М., 1972, с. 3—11 (Минмонтажспецстрой).

³ Учитывая относительно малую мощность электросталеплавильных печей в машиностроении.

Химико-термическая обработка металла требует в зависимости от ее вида 250—600 кВт·ч/т. Наиболее распространенные сегодня виды термообработки (обжиг, нормализация с отпуском, закалка с отпуском) требуют 560—600 кВт·ч электроэнергии на 1 т металла. Этот показатель и можно использовать как средний при укрупненных расчетах.

В последнее время все шире в машиностроении применяется электросварка. Объем сварных конструкций непрерывно растет, вместе с ним возрастают размеры потребления электроэнергии. Расход электроэнергии на 1 т сварных конструкций укрупненно может быть определен по массе наплавляемого металла и удельному потреблению электроэнергии на 1 т наплавки. Объем наплавляемого металла составляет около 1—1,5% общей массы металлоконструкций, а расход электроэнергии на наплавку достигает 7 кВт·ч/кг. Другой способ заключается в оценке потребности электроэнергии по мощности действующего электросварочного оборудования и характеристикам времени его использования.

10-2. РОСТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТРАДИЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

Технический прогресс в машиностроении имеет важное значение для всего народного хозяйства, так как он обеспечивает:

создание прогрессивной технологии производства орудий труда в народном хозяйстве. Задачи, решаемые машиностроением, требуют опережающего развития этой отрасли по отношению ко всему промышленному производству. Так, в период 1965—1974 г. при общем росте промышленного производства в 2,0 раза объем производства продукции в машиностроении и металлообработке увеличился в 2,7 раза; в десятом пятилетии при росте валовой продукции в промышленности в 1,35—1,39 раз объем продукции машиностроения увеличился в 1,5—1,6 раза;

изменение структуры используемых в машиностроении конструкционных материалов. Без этого не могут быть решены задачи повышения качества и надежности оборудования, роста экономичности продукции, производимой отраслью;

повышение производительности труда в машиностроении. Это является важным фактором снижения издержек производства в отрасли, трудоемкость которой более чем в 1,5 раза выше, чем трудоемкость промышленного производства в целом (данные за 1974 г.) *:

	Доля зарплаты в себестоимости на 1 млн. руб. продукции, %	Число рабочих на 1 млн. руб. продукции
Промышленность (всего) . . .	14,8	67
В том числе машиностроение и металлообработка	24,0**	100

К числу основных направлений технического прогресса, обеспечивающих развитие электрификации, в машиностроении могут быть отнесены следующие: создание более производительной и «металлоэкономной» структуры основного оборудования; механизация вспомогательных ручных работ, занимающих сегодня особенно большой удельный вес в отрасли; широкое внедрение методов электроплавки, нагрева и термообработки материалов, обеспечивающих экономию металла, повышение качества продукции, автоматизацию производства и улучшение условий труда работающих; освоение и внедрение принципиально новых физических и химических способов обработки материалов, особенно сверхтвердых и со сложной конфигурацией. Первые два направления будут определять в основном дальнейший рост потребления электроэнергии на силовые процессы в машиностроении. Последующие влияют на масштабы и структуру использования электроэнергии на технологические нужды.

Можно ожидать, что в структуре потребления металлов будет сокращаться доля отливок, особенно в сравнении с ростом потребляемого сортового и листового проката. Заметные изменения должны произойти и в структуре способов обработки металла за счет опережающего развития обработки металлов давлением. Как показывают расчеты, замена обработки резанием обработкой давлением позволяет на 1 млн. т проката экономить более 150 тыс. т металла, высвободить 15 тыс. единиц металлорежущих станков и 22 тыс. станочников.

* Число рабочих взято по [Л. 71].

** По доле зарплаты в себестоимости продукции машиностроения и металлообработки уступают только стекольной, угольной, торфяной промышленности, лесозаготовкам и деревообработке.

Дальнейшее опережающее развитие получает сварка металлов с заменой ею других видов соединений. Число сварных конструкций на 1 т потребляемого металла должно увеличиваться. Соответственно будет изменяться структура парка оборудования машиностроения.

В парке металлообрабатывающего оборудования доля кузнечно-прессовых и литейных машин составляет 18%, а металлорежущих станков 82% [Л. 82, с. 35]. Следует ожидать дальнейшего роста парка кузнечно-прессового оборудования, в первую очередь наиболее производительных кривошипных штамповочных пресов. По материалам обследования Московского автомобильного завода имени И. А. Лихачева было установлено, что удельный вес штамповочных молотов составляет 58—60%, а кривошипных штамповочных пресов 20—22%, в то время как рациональная структура кузнечно-прессового оборудования характеризуется обратным соотношением [Л. 77]. Соответственно должен сокращаться удельный вес металлорежущего оборудования.

Перспективный расход электроэнергии на нужды резания металла можно оценить двумя методами: на основе динамики парка станков и его использования; путем оценки перспективных значений удельных расходов электроэнергии на единицу обрабатываемого металла. Можно ожидать, что в перспективе средняя единичная мощность металлорежущих станков существенно не изменится, так как наряду с крупными агрегатными станками получают распространение менее мощные станки в 2—4 кВт. Можно рассчитывать на повышение уровня использования станочного парка как по мощности, так и по времени. Все это определяется развитием специализации производства и ростом удельного веса продукции, выпускаемой массово или крупносерийно; увеличением коэффициента сменности на машиностроительных заводах, в частности работы металлорежущих станков (это обеспечивает рост фондоотдачи и эффективности производства); изменением структуры оборудования за счет увеличения доли прецизионных, автоматических и полуавтоматических станков, а также оборудования с программным управлением режимом работы (они характеризуются более высоким удельным весом рабочего времени и меньшей долей вспомогательного времени).

При сохранении в станочном парке относительно высокого удельного веса «стартовых», в том числе фрезерных станков* будет увеличиваться удельный вес станков «финишной» обработки, прежде всего шлифовальных. В 1960 г. в общем выпуске станков их доля составляла 4,8%, в 1970 г. достигла 7%, а в 1975 г. должна была составить 9,3%. Предполагаемое изменение станочного парка показано в табл. 10-3. С развитием производства значительно увеличится доля автоматов и полуавтоматов во всем парке станков. Так, токарные автоматы и полуавтоматы в выпуске 1975 г. составили 3,3% против 2,5% в 1969 г. В ближайшие годы СССР по уровню автоматизации станочного парка должен выйти на передовые позиции в мире [Л. 75].

Таблица 10-3

**Предполагаемые изменения структуры выпуска
металлорежущих станков, %***

Группы станков	СССР		США** 1968 г
	базовый год	расчетный год	
Токарные, карусельные, револьверные	27,1	15,5	16,5
Фрезерные, строгальные, долбежные	13	15,5	14
Сверлильные	19	17	19,3
Шлифовальные (без обдирочно-шлифовальных)	12,8	17,5	26,0
Расточные	1,8	2,8	2,3
Автоматы и полуавтоматы токарные	2,5	7,8	5,1

* Палтерович Д. М. Планирование потребности в оборудовании, М., «Экономика», 1972, с. 130.

** В 1968 г. в парке станков США первое место занимали шлифовальные станки. Но к 1973 г. эта группа уступила первое место токарным станкам, прирост парка по которым был в 2,2 раза выше, чем по шлифовальным (From planters to EDM, Amer., mach., 1973, 117, № 22).

Одним из перспективных направлений развития парка металлорежущих станков является создание обрабатывающих центров, оборудованных станками с числовым программным управлением. Они сочетают высокую производительность автоматического и специального оборудования с гибкостью универсальных станков. Сни-

* Их доля в выпуске по СССР с 1960 по 1970 г. составляла в среднем 25%, а на 1975 г. намечалась в размере 23%.

жение себестоимости продукции, изготавливаемой на таких станках, достигает 10—50% и более. Станки с программным управлением в 3—8 раз производительнее обычных. Их основное время работы составляет 60—80%, времени обработки с полным использованием мощности электромоторов.

В целом на удельные расходы электроэнергии в резании металлов будут действовать две противоположные группы факторов:

во-первых, увеличение точности заготовок, подлежащих обработке, связанное с ростом удельного веса поковок, штамповок и точных отливок в обрабатываемом металле; в результате коэффициент использования металла в машиностроении должен возрасти, а количество стружки, снимаемой с 1 т металла, уменьшится, соответственно уменьшится и расход электроэнергии;

во-вторых, рост парка прецизионных станков и объема энергоемкой обработки металла на них; это приведет к увеличению расхода электроэнергии. Нами был оценен расход электроэнергии на снятие 1 т стружки при структурах парка станков, соответствующих их выпускам в базовом и расчетном годах (табл. 10-3). Результаты оценки даны в табл. 10-4.

Таблица 10-4

**Динамика расхода электроэнергии в резании металлов
в зависимости от структуры парка станков**

Группа станков	Структура парка		Условная структура стружки		Полезный расход электроэнергии, кВт·ч/т стружки при ее структуре	
	базовая	расчетная	базовая	расчетная ¹	базовой	расчетной
Токарные, карусельные, револьверные	51	31	75	51	150	150
Фрезерные, строгальные и долбежные	25	33	22	30	450	450
Шлифовальные	24	36	3	4,5	3500	3500
Всего ²	100	100	100	85,5	2	350

¹ Условно рассчитано в соответствии с изменением удельного веса парка станков.

² Без расточных, сверлильных станков, токарных автоматов и полуавтоматов.

Как видно из табл. 10-4, базовый полезный расход электроэнергии на 1 т стружки составит 320 кВт·ч, а расчетный 350 кВт·ч. При этом нужно иметь в виду уменьшение выхода стружки, т. е. снижение металлоемкости машиностроения за счет изменения структуры парка станков. Если при этом учесть, что расход полезной энергии на 1 т стружки в шлифовке увеличится в результате более точной обработки, то удельный расход электроэнергии вырастет еще больше. Полезный расход электроэнергии, отнесенный на 1 т обрабатываемого металла, следует определять с учетом уменьшения количества стружки, снимаемой с единицы веса металла за счет увеличения точности заготовок и соответствующего снижения допусков в металлорезании.

Значительно сложнее оценить тенденции потребления электроэнергии на силовые нужды для кузнечно-прессового и литейного оборудования. Предварительно можно сказать следующее. Дальнейшее развитие холодной штамповки, особенно в автомобилестроении и других отраслях транспортного машиностроения, может привести к увеличению единичной мощности кузнечно-прессового оборудования. Вместе с тем его значительная часть пока работает на сжатом воздухе или паре с к. п. д. 5—10%. При этом на сжатие воздуха расходуется около 50% всей электроэнергии, используемой на деформацию металла давлением. Поэтому переход на электрический привод позволит значительно сократить удельную мощность оборудования и расход электроэнергии. В противоположном направлении действует рост электроемкой холодной штамповки, прежде всего высадки из листа. Существующее литейное оборудование также в значительной степени связано с использованием сжатого воздуха. Поэтому увеличение доли электропривода приводит к снижению единичной установленной мощности этого оборудования. Уменьшится удельный вес литья в песчаные формы и, следовательно, сократится расход электроэнергии на их приготовление. Одновременно возрастет доля новых энергоемких способов литья — центробежное, под давлением и др.

Рост потребности в электроэнергии на силовые нужды связан также с ростом в перспективе механизации подъемно-транспортных работ в машиностроении. Как показали наши расчеты, в перспективе расходы элек-

Таблица 10-5

Изменение расхода электроэнергии на силовые нужды,
% к резанью металла

Силовые процессы	Современ- ный уровень	Перспектива
Резанье металла	100	100
Обработка металлов давлением	80—120	100—180
Литейное производство	30—40	30—40
Подъемно-транспортное оборудование	60	70—80

троэнергии на 1 т. металла, потребляемого в машиностроении, могут заметно измениться (табл. 10-5). В результате удельный расход электроэнергии на силовые процессы на 1 т. металла будет возрастать. Напротив, расход электроэнергии на эти процессы, исчисленный на единицу продукции в денежном выражении, может в перспективе сокращаться, если металлоемкость продукции будет продолжать уменьшаться хотя бы теми темпами, что и за прошедший период¹.

Тенденции потребления электроэнергии на технологические нужды машиностроения и металлообработки зависят от уровня развития технологических процессов в отрасли и эффективности использования электроэнергии для немеханической обработки металлов и материалов. Наиболее важной группой технологических процессов в машиностроении и металлообработке являются термические. Важнейшие преимущества электроэнергии заключаются здесь в возможности: получения очень высоких температур (до десятков тысяч градусов), что имеет особое значение для получения тугоплавких материалов; обеспечения равномерности нагрева, стабильности получаемых материалов; защиты нагреваемых изделий от вредных воздействий среды и уменьшение потерь металла по сравнению с пламенным нагревом; осуществления местного (избирательного) нагрева, что важно, например, для термообработки сварных металлоконструкций, в частности, в местах сварки; большой скорости нагрева, комплексной автоматизации и

¹ По данным А. М. Поляка за десятилетие 1951—1960 гг. удельный расход проката черных металлов в машиностроении на 1000 руб. снизился примерно на 40%, за последующее десятилетие еще на 40%.

механизации оборудования, что позволяет встроить электронагревательные установки в автоматические линии; гигиеничности и безопасности условий работы обслуживающего персонала.

Плавка металлов. Изменение структуры и методов производства отливок из черного и цветного металла предполагает прежде всего широкое применение электроэнергии. Ваграночный метод плавки чугуна связан с большим расходом литейного чугуна, кокса и дорогостоящих огнеупорных материалов. Ваграночный чугун из-за нестабильного химического состава имеет дефекты, что делает необходимым увеличивать массу отливок из него. Поэтому переход к плавке чугуна в электрических индукционных печах имеет принципиальное значение для всего машиностроения и металлообработки¹. Только на этой основе возможно получение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом².

Плавка чугуна в индукционных печах, обеспечивая улучшение механических свойств литейного чугуна, позволяет снизить массу изделий на 12—15%, по сравнению с ваграночным чугуном. Срок службы отливок, полученных в электропечах, увеличивается на 30%. Меняется состав шихты, появляется возможность использовать металлоотходы, стоимость шихты снижается на 25—40%. Замена вагранок индукционными печами улучшает труд вагранщиков — одной из самых тяжелых и непривлекательных профессий в машиностроении. Резко улучшаются условия труда в литейных цехах из-за снижения вредных выбросов. Все это делает индукционную плавку чугуна более эффективной по сравнению с ваграночной, хотя сама электропечь может быть значительно дороже ваграночного комплекса. В перспективе повышению эффективности применения индукционных печей для плавки чугуна будут способствовать: широкое внедрение конверторного способа плавки стали, рост выпуска листового проката, уменьшение использования стальных отходов в металлургии, удорожание стоимости вагранок и литейного кокса,

¹ В США около 50% литейного чугуна получают в электропечах, в ФРГ 20%, Японии 100%. За 1960—1967 гг. число вагранок в США сократилось почти в 2 раза, а электропечей возросло в 2,5 раза. В Западной Европе в 1960 г. было 300 плавильных электропечей, к 1967 г. их число увеличилось до 1200.

² В США и Японии удельный вес такого чугуна превышает 20%.

рост потребности в высокопрочном чугуне, концентрация мощности плавильного оборудования.

Первоочередным мероприятием для плавки металлов в машиностроении является также электроперегрев чугуна в миксерах, требующий примерно 100 кВт·ч на 1 т металла. Высокоэкономично использование электроэнергии и для выплавки стали и получения стальных отливок, особенно в связи с возможным увеличением мощности сталеплавильных печей. По качеству 1 т электростали соответствует примерно 1,2 т рядовой марте-новской стали. Существующая сейчас тенденция сокращения мартеновской плавки стали, очевидно, должна в первую очередь проявиться в машиностроении, где используются мартеновские печи малой емкости.

Одним из наиболее эффективных направлений термического использования электроэнергии является электроплавка дорогостоящих цветных металлов, обеспечивающая минимальный угар металла.

Таблица 10-6

**Потребление электроэнергии плавильными печами
различного типа¹, кВт·ч/т**

Тип печи	Алюминий	Медь	Никель
Печи сопротивления:			
тигельная	760	—	—
ванная	680	—	—
с теплопередачей излучением	—	450	650
Индукционные печи:			
низкочастотная канальная	400	280	480
низкочастотная тигельная	600	—	560
среднечастотная	—	—	620
высокочастотная	—	580	760

¹ Хвойка И. Цветные металлы и их сплавы. М., «Металлургия», 1973, с. 94.

Укрупненно расход электроэнергии на плавку цветных металлов в электропечах различного типа показан в табл. 10-6.

Наиболее энергоемкой отраслью машиностроения является производство абразивных инструментов и материалов. Электроэнергия используется здесь для плавки абразивов в специальных печах, а ее расходы достигают 10—12 тыс. кВт·ч на 1 т абразивов. Другим

видом энергоносителей служит природный газ, применяемый для обжига абразивного инструмента на керамических связках. В перспективе можно ожидать частичной замены газовых обжиговых печей электрическими, причем расход электроэнергии на обжиг относительно невелик. Технический прогресс в плавке абразивных материалов идет по пути применения более мощных электропечей и замены блокового процесса плавки более современной плавкой на выпуск. Сокращение издержек производства при плавке нормального электрокорунда в печах мощностью 24 тыс. кВт вместо 10,5 тыс. кВт составит около 8%, в том числе 3%, за счет уменьшения удельного расхода электроэнергии. Аналогичные показатели имеют место и для других видов абразивных материалов.

Нагрев металла под ковку и штамповку. Потребление электроэнергии для нагрева заготовок под горячую деформацию металла зависит в перспективе от количества металла, проходящего ковку и штамповку, и технико-экономических показателей различных видов электронагрева по сравнению с пламенным нагревом. Важным для повышения экономической эффективности индукционного нагрева и расширения области его применения явится переход к использованию индукционных установок с современными преобразователями частоты. Это позволяет снизить расход электроэнергии с 550—700 кВт·ч до 450 кВт·ч на 1 т нагреваемого металла за счет выбора частот, обеспечивающих оптимальные условия нагрева заготовок различных диаметров. Соблюдение технологического режима при электронагреве обеспечивает незначительное окисление металла — всего 0,3—0,5%.

Однако эффективность применения электронагрева под ковку и штамповку сегодня вызывает дискуссию. Ряд авторов считают, что применение природного газа значительно экономичнее электронагрева [Л. 7]. Выполненный ими анализ показывает, что в 1969 г. при среднем расходе топлива на 1 т поковок и штамповок 409 кг условного топлива на лучших предприятиях был достигнут расход 280—320 кг/т; за рубежом, в частности в ГДР, имеются еще лучшие показатели. По мнению тех же авторов, высокие удельные расходы топлива связаны с низкой загрузкой и невысокой культурой эксплуатации газовых печей, несовершенством их кон-

струкции. В отличие от электрических печей, изготавливаемых в СССР серийно, газовые печи не производятся промышленным способом, а сооружаются непосредственно на заводах-потребителях. С другой стороны, расходы электроэнергии на нагрев кузнечных заготовок оцениваются в настоящее время в среднем в 500—600 кВт·ч/т, что эквивалентно 160—200 кг условного топлива на 1 т, однако на многих заводах они значительно выше. Между тем доля энергии в стоимости обработки занимает ведущее положение: в цеховой себестоимости нагрева (без стоимости самого металла) она составляет для контактных электропечей 18—62% и индукционных установок 41—79%.

По нашему мнению, эффективность электронагрева под ковку и штамповку будет в значительной мере зависеть от возможностей повышения к. п. д. газовых и электрических печей и соотношения стоимостей электроэнергии, природного газа и мазута. Несомненно, что пламенный нагрев требует организации современного промышленного печестроения, обеспечивающего стандартное качество и стабильные экономические показатели печей. Однако, как указывают некоторые специалисты [Л. 30], стоимость газовых печей для термообработки, включая стоимость внепечного оборудования (газопроводы, кабели, трансформаторы), окажется выше, чем стоимость электрических печей, хотя с повышением сложности и степени механизации оборудования эта разница будет уменьшаться.

Эффективность электронагрева, особенно в индукционных установках, возрастает с увеличением массовости производства. Электронагрев более эффективен для заготовок относительно небольшого размера, газовый и мазутный — для крупногабаритных заготовок. Наиболее благоприятные условия для нагрева в индукционных установках создаются при небольшой номенклатуре заготовок, когда требуется высокая скорость и равномерность нагрева, постоянная готовность к работе, высокая степень автоматизации. В. С. Бялковская и Г. А. Брянский [Л. 14] рекомендуют следующие способы нагрева кузнечных заготовок в зависимости от их характеристики (табл. 10-7).

Большой интерес представляет газовый безокислительный нагрев, который практически равноценен электрическому по размерам угара металла. Однако опыт

Группировка и характеристика кузнечных заготовок и способы нагрева

Характеристика заготовок			Тип производства	Рекомендуемые способы нагрева		Отрасли машиностроения	Особые условия
Группы и названия	Количество, % к итогу	Параметры		Вид нагрева	Оборудование		
Заготовки, которые нагреваются целиком	70	$l_3 = 1,5 \div 10d$	Крупносерийное, массовое	Индукционный	Индукционные установки	Автомобилестроение, сельскохозяйственное машиностроение	При изготовлении поковок
		$l_3 \geq 3b$, но не более 12b	Серийное, мелкосерийное	Газовый пламенный, электронагрев (если применение газа невозможно)	Печи с вращающимся подом и толкательные	Станкостроение, вагоностроение	
		$l_3 \leq d$	Мелкосерийное	Газовый пламенный	Щелевые печи	Станкостроение	Для заготовок с квадратным сечением 60×60 и круглым сечением
		$l_3 > 2d$	Мелкосерийное	Индукционный	Индукционные установки	Станкостроение	
		Переменное сечение	Крупносерийное, массовое	Газовый пламенный	Толкательные одно-рядного расположения	Автомобилестроение, производство подшипников	
		$l_3 = 6d$ $d = 20 \div 120$ мм	Крупносерийное, массовое	Индукционный	Индукционные установки	Производство подшипников и другие отрасли машиностроения	При изготовлении поковок на многопозиционных вертикальных автоматах.

Продолжение табл. 10-7

Характеристика заготовок			Тип производства	Рекомендуемые способы нагрева		Отрасли машиностроения	Особые условия
Группы и названия	Копи- есть- во, %	Параметры		Вид нагрева	Оборудование		
Заготовки, у ко- торых однократ- но нагревается один конец	13	$l_3 = 5-10 \text{ м}$	Крупносерий- ное, массовое	Индукционный	Индукционные установки	Автомобилестроение, тракторостроение	При отсутствии элек- тронагрева в специаль- ных печах скоростного нагрева
		$l_n < 5d$					
		$l_3 > 8 \div 10d$ $l_3 \leq 10$					
		$l_n < 0,5l_3$					
Заготовки, у которых нагреваются оба конца	8		Крупносерий- ное, массовое	Индукционный, пламенный на газе (скоростной)	Индукционные установки или газовые печи специальной конструкции	Автомобилестроение, тракторостроение	Предеварительная высад- ка для утолщения конца длинных прутков
			Мелкосерийное	Газовый пламенный	Печи шелевые очкового типа	Вагоностроение	Нагрев одного конца
			Крупносерий- ное, массовое	Газовый пламенный	Шелевые печи	Автомобилестроение и другие отрасли	Нагрев, поочередно каждого конца

Продолжение табл. 10-7

Характеристика заготовок		Тип производства	Рекомендуемые способы нагрева		Отрасли машиностроения	Особые условия
Группы и названия	Количество по % к итогу		Параметры	Вид нагрева		
Заготовки, у которых многократно нагревается одна часть	7		$l_3 \leq 10d$	Индукционный	Индукционные установки	Для избежания оплавления при вторичном индукционном нагреве необходимо охлаждение заготовки
			$l_3 = 2 \div 8d$	Газовый пламенный	Щелевые печи	
Заготовки, у которых нагревается средняя часть	2		$l_n > 0,5l_3$	Газовый пламенный	Щелевые печи	При отсутствии электронагрева нагрев в пламенных печах (щелевые проходные)
			$l_n < 0,5l_3$	Электроконтактный	Электроконтактные машины с регулируемыми контактами	
					Вагоностроение	
					Автомобилестроение, тракторостроение	

Примечание. l_3 — длина заготовки; l_n — длина нагреваемого конца; d — диаметр; b — сторона квадрата.

показал, что применение этого способа нагрева связано со значительными сложностями по обеспечению безокислительной среды. Газовый безокислительный нагрев не достигает уровня электронагрева по скорости протекания процесса и его регулируемости. Пламенные печи менее применимы для автоматизированного производства, роль которого непрерывно возрастает. Поэтому число газовых безокислительных печей будет в перспективе, по-видимому, невелико. Нет сведений о широком использовании этого способа нагрева и в зарубежной практике.

Сегодня не представляется возможным однозначно установить целесообразные области использования для нагрева под ковку и штамповку электроэнергии и других энергоносителей с учетом всего комплекса технологических и организационно-технических условий производства. Вместе с тем следует предусматривать возможность появления гибкой дуплекс-схемы, при которой предварительный нагрев (до 500°C) осуществляется на газе, а дальнейший нагрев (до $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$) на электроэнергии. Дуплекс-схема осуществляется в одном комбинированном агрегате.

Упрочняющая термообработка металлов является и остается крупным потребителем электроэнергии.

Основным показателем, определяющим расход электроэнергии и других энергоносителей на термообработку, является ее кратность, т. е. отношение тонноциклов * термообработки к общему количеству потребляемого в отрасли металла. Этот показатель, по нашей оценке, в настоящее время близок к 0,5 **. Вопрос об оптимальной кратности термообработки в перспективе изучен недостаточно. Необходимо учитывать, что термообработка будет увеличиваться в металлургии, что одновременно снижает ее объемы в машиностроении. Однако можно ожидать, что улучшение качества изде-

* Тонноцикл — это количество металла, проходящего один какой-либо цикл термообработки: отжиг перед или после штамповки, закалку с отпуском и т. п.

** Оценка выполнена по общим и удельным расходам энергии. По данным А. Волкович [Л. 23], термической обработке подвергается сейчас весь объем производимых в машиностроении заготовок и от 20 до 30% (а в некоторых отраслях до 50% и выше) металлоизделий. Заготовки и детали машин неоднократно направляются на термообработку, поэтому рост ее объемов опережает рост производства заготовок и отдельных видов изделий.

Возможные условия термообработки металла

№ позиции	Позиции термообработки	Условия термообработки и возможные объемы обрабатываемого материала
До обработки резанием		
1	Готовый прокат перед холодной штамповкой	Смягчающий отжиг для 100% металла
2	Детали и изделия после холодной штамповки	Отжиг или нормализация с отпуском для 30% металла ¹
3	Сварные металлоконструкции после сварки и перед механической обработкой или передачей в потребление	50% металлоконструкций—местная термообработка; 20%—общая термообработка
4	Литье	Смягчающий отжиг для 100% отливок, проходящих механическую обработку
5	Горячие поковки и штамповки	Отжиг для 100% металла, проходящего металлообработку
6	Готовый прокат перед обработкой резанием	Смягчающий обжиг для 100% металла, направляемого непосредственно на механическую обработку

В процессе и после обработки материалов резанием

7	Прокат, проходящий (без обработки давлением) обработку резанием (позиция 6)	В среднем двукратная (для ответственных деталей еще большая кратность) термическая и химико-термическая обработка для 100% металла
8	Рядовой прокат после механической обработки	Термическая и химико-термическая обработка 80% металла
9	Кованные и штампованные детали	Термообработка для 50% металла
10	Детали и изделия из отливок	Отжиг крупных, нормализация средних, закалка мелких деталей—для 50% металла
11	Детали из труб, в том числе кольца подшипников	Трех-четыреждыкратная термическая и химико-термическая обработка для 100% металла
12	Метизы, в том числе крепеж	Термообработка для 40% металла

¹ Сюда относится весь металл, идущий на механическую обработку, и часть штамповок, направляемых сразу на производство металлоконструкций.

лий в машиностроении требует роста кратности термообработки металла.

Для оценки возможного изменения потребности в энергоресурсах в зависимости от кратности термообработки нами на основании имеющихся литературных источников был рассмотрен вариант применения этих процессов (табл. 10-8).

Общий объем термически обрабатываемого металла в соответствии с условиями табл. 10-8 и современной структурой его технологической обработки (рис. 10-1) на 100 т представлен в табл. 10-9.

Таблица 10-9

Оценка кратности термообработки металла

Позиция по табл. 10-8	Общее количество металла, т	Количество металла, проходящего термо- и термохимическую обработку		Частная кратность термо- и термохимической обработки	Общее количество металла, проходящее термо- и термохимическую обработку
		%	т		
1	14,0	100	14,0	1	14,0
2	14,0	30	4,2	1	4,2
3	35,0	20	7,0	1	7,0
		50	17,5	0,1*	1,75
4	28,1	100	28,1	1	28,1
5	10,2	100	10,2	1	10,2
6 и 7	9,9	100	9,9	2	19,8
8	$9,9 \times 0,75^{**}$	80	6,0	1	6,0
9	$24,2 \times 0,75^{**}$	50	9,0	1	9,0
10	$28,1 \times 0,75^{**}$	50	11,5	1	11,5
11	1,3	100	1,3	4	5,2
12	3,8	40	1,5	1	1,5
Всего (округленно)		—	—	1,2	120

* Условная кратность для местной термообработки сварных изделий конструкций.

** Коэффициент, учитывающий выход годного после механической обработки (условно).

Как видно, при принятых «иллюстративных» условиях средняя кратность термообработки могла бы быть почти в 2,5 раза выше, чем в настоящее время.

Помимо кратности термообработки расход электроэнергии зависит от экономической эффективности способов нагрева металла. В целом считается, что электрические печи, особенно индукционные установки, дороже газовых, но, как уже упоминалось, стоимость газовых печей может возрасти. Электрический нагрев выгоден

на предприятиях с серийным и крупносерийным производством, а также при термической обработке деталей из легированных и высоколегированных марок стали. Удельный вес электротермической обработки в таких производствах составляет 90—100%, например на уральских автомобильном, турбомоторном заводах и Ирбитском мотоциклетном заводе. На предприятиях тяжелого машиностроения, где развито заготовительное производство, удельный вес электротермических методов сравнительно невелик, например, на Уральском заводе тяжелого машиностроения 12%, Южно-Уральском 6%. На этих заводах 75—86%, заготовок — крупногабаритные с большими припусками на обработку. Масса одной садки в газовых печах в некоторых операциях достигает 100 т и выше, а угар металла 2—5% от массы садки¹.

Многими советскими специалистами высоко оценивается термообработка металла в индукционных установках. При их использовании обеспечивается необходимая твердость поверхностного слоя деталей, исключаются потери металла в угар, в несколько раз сокращается длительность операции, достигается стабильность выпуска продукции, необходимая для автоматизации производства, увеличивается уровень механизации печей. Тем не менее по вопросу об эффективности применения электротермообработки в сравнении с пламенным нагревом нет единого мнения. Можно сказать, что в значительном числе случаев результаты сопоставлений не в пользу электрического нагрева, зации производства; недостатки газового безокислительным нагревом. Однако следует отметить, что почти во всех этих сопоставлениях не были полностью учтены: технологический эффект электронагрева для автоматизации производства; недостатки газового безокислительного нагрева; возможность существенного удорожания качественного топлива и пламенных печей. В связи с этим весьма интересен также зарубежный опыт.

В США и Западной Европе до последнего времени преобладал газовый нагрев, что в значительной мере было связано с соотношением цен на энергоносители. Так, стоимость 1 Гкал, используемой в печи в виде электроэнергии, в сравнении со стоимостью 1 Гкал, поступающей с газовым топливом, была больше в США в 5,7, а

¹ Все данные по уральским заводам опубликованы А. Волкович [Л. 23].

в Западной Европе даже в 8—10 раз [Л. 30]. Однако в последнее время темпы внедрения электронагрева в этих странах стали возрастать, и, очевидно, будут расти с удорожанием качественного топлива. Отмечается, что общие затраты на индукционный нагрев в большинстве случаев ниже, чем при нагреве газом [Л. 3].

Эффективность и уровень электрификации процессов нагрева металла под термическую и химико-термическую обработку нельзя оценить однозначно. Поэтому в расчете на 1 т. потребляемого в машиностроении металла перспективное потребление электроэнергии может быть оценено только вариантно — в зависимости от кратности термообработки и возможной доли электронагрева (табл. 10-10).

Таблица 10-10

Потребление электроэнергии на 1 т металла, используемого в машиностроении, в зависимости от кратности термообработки и доли электронагрева¹

Кратность термообработки	Количество металла, нагреваемого с помощью электроэнергии, при доле электронагрева, т		Потребление электроэнергии при доле электронагрева, кВт·ч	
	50%	80%	50%	80%
50% (современная)	0,25	0,4	125	200
75%	0,375	0,6	187	300
100%	0,5	0,8	250	400
120% (условно максимальная)	0,6	0,96	300	480

¹ Средний расход электроэнергии принят в размере 500 кВт·ч/т в связи с повышением к. п. д. печей и увеличением удельного веса менее энергоемкой химико-термической обработки.

Помимо указанных выше основных направлений использования электроэнергии необходимо учитывать сварку металлов, сушку покрытий, литейных форм и стержней, плавку пластмасс, нагрев материалов в электронной промышленности, нагрев под термообработку и штамповку заготовок из цветных металлов.

Потребление электроэнергии на сварку определяется прежде всего размерами производства сварных конструкций в машиностроении. Основными направлениями развития сварочного производства являются: повышение качества сварного соединения за счет электрошлаковой сварки, сварки в среде углекислого газа, инертных га-

зов и в вакууме с одновременным ускорением процесса в 2—3 раза, создание многопозиционных сварочных аппаратов. Эти новые направления будут увеличивать расход электроэнергии на 1 т наплавляемого металла. Можно также ожидать, что усложнение машиностроительных сварных конструкций вызовет относительное увеличение массы наплавляемого металла и одновременно удельного расхода электроэнергии на сварку.

Таблица 10-11

Эффективность высокочастотной сушки в машиностроении¹

Затраты	Стоимость сушки 10) стержней, руб.	
	газовая при 3-сменной работе	высокочас- тотная при 2-сменной работе
Технологическая энергия:		
электрическая	0,06	0,48
тепловая	0,49	—
Зарплата	0,20	0,04
Амортизационные отчисления	0,12	} 0,284
Эксплуатационные расходы	—	
Накладные расходы	0,36	0,006
Всего	1,23	0,81
Экономия на 100 стержней, руб.	—	0,42
Экономия на годовую программу, руб.	—	26 300
Капитальные затраты, руб.	—	40 660
Срок окупаемости капитальных затрат	—	1,5 года

¹ Глуханов Н. П. и Федорова И. Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. Л., „Машиностроение“, 1972. 159 с.

Основное преимущество электрической сушки — резкое ускорение процесса. По сравнению с сушкой горячими газами при высокочастотном нагреве скорость сушки возрастает в 20—90 раз. В качестве примера в табл. 10-11 приведен ориентировочный расчет технико-экономической эффективности внедрения сушки стержней при высокочастотном нагреве на одном из машиностроительных заводов страны.

Как видно из приведенной табл. 10-11, при примерно равной стоимости энергетических ресурсов электросуш-

ка оказывается эффективной за счет резкого сокращения накладных расходов и роста производительности труда, в результате чего составляющая заработной платы на обработку материалов снижается в 5 раз.

10-3. НОВЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ¹

Крупным потребителем электроэнергии обещают быть новые электрофизикохимические технологии (ЭФХТ) обработки металлов и материалов. К их числу принадлежат следующие:

Электроэрозионная обработка, основанная на явлении электрической эрозии: тепловом действии импульсов электрического тока, подводимого непосредственно к токопроводящим телам (электродам), одним из которых является электроинструмент, другим — обрабатываемая деталь или заготовка. Электроэрозионная обработка включает следующие способы:

электромеханической (обработка отверстий, фасонных полостей, резка деталей из твердых материалов). Плотность энергии между электродами достигает $10\,000\text{ А/мм}^2$ и более, в результате чего мгновенно развивается высокая температура, достигающая $5000\text{—}40\,000^\circ\text{C}$ и выше. За счет нее происходит интенсивное испарение и удаление металла²;

электроимпульсный отличается от электроискрового применением не релаксационных, а машинных и электронных генераторов импульсов и большей длительностью самих импульсов. Способ применяется для одновременного снятия металла с относительно больших площадей; он высокопроизводителен и используется чаще всего для изготовления матриц, штампов и прессформ, обработки деталей из жаропрочных сплавов;

электроконтактный, при котором кратковременные разряды образуются в результате быстрого перемещения электрода-инструмента относительно обрабатываемой детали. Процесс применяется для выполнения черновых операций, обдирки, резки и других.

Электрохимическая обработка, основанная на растворении металла анода, которым служит обрабатываемая

¹ При составлении этого параграфа использованы данные [Л. 46, 105].

² Способ разработан в СССР лауреатами Государственной премии Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко в 1943 г.

мая деталь, в электролите. Применяется для сверления отверстий, обработки поверхностей (полирования). Промежуточной между электроэрозионной и электрохимической является *анодно-механическая* обработка деталей.

Лучевая обработка включает: электронно-лучевую, где обработка детали производится сфокусированным потоком электронов. Удельная мощность достигает при этом нескольких мегаватт на 1 мм^2 , что обеспечивает малоразмерную обработку особо твердых материалов; лазерную, где вместо потока электронов используется мощный световой луч, полученный от оптического квантового генератора.

Ультразвуковая обработка, в которой обрабатывается металл за счет микроударов абразивных зерен. Энергия сообщается через инструмент от излучателей ультразвука. Используется для обработки хрупких материалов.

Магнитная обработка, в том числе формование детали в магнитном поле.

Потребность в ЭФХТ диктуется возрастающей прочностью материалов. Наряду с обычными сталями все шире начинают использоваться высокопрочные — с пределом прочности до $150\text{--}200 \text{ кгс/мм}^2$, а в перспективе до 300 кгс/мм^2 , вместо обычных $40\text{--}70 \text{ кгс/мм}^2$. Улучшение прочностных свойств связано с непропорциональным ростом затрат на их механическую обработку; повышение прочности стали в 4 раза увеличивает себестоимость традиционной обработки в 10 раз. Способы ЭФХТ отличаются от традиционных способов обработки рядом преимуществ: практической независимостью скорости и качества обработки от свойств материала, т. е. возможностью обработки с хорошими результатами любых материалов; минимальными потерями при раскрое заготовок, что особенно важно для дорогостоящих материалов и сплавов; высокой точностью и чистотой изготовления деталей соответственно до $2\text{--}5 \text{ мкм}$ и 11—12 классов; возможностью изготовления деталей любой сложности и конфигурации.

Оборудование для ЭФХТ, как правило, очень дорого¹. Однако в ряде случаев эта высокая стоимость оку-

¹ В среднем в США цены на станки электрохимической обработки равны 75—125 тыс. долл., станки с источником питания на 20 тыс. ампер стоят до 250 тыс. долл., а на 40 тыс. ампер до 400 тыс. долл. [Л. 35].

пается резким ростом производительности оборудования и труда, значительным улучшением качества продукции. Один из таких примеров дан в табл. 10-12. Технология электрохимической обработки (ЭХО) по зарубежным данным в среднем является выгодной при обработке сложных профильных изделий, особенно из труднообрабатываемого материала, со средней серийностью около 100 единиц.

Таблица 10-12

Сводные показатели внедрения электрохимических методов обработки фасонного профиля лопаток турбин на ЛМЗ имени XXII съезда КПСС¹

Показатели	Старый метод	Электрохимическая обработка
Объем годового выпуска обрабатываемых деталей, шт.	16 945	16 945
Трудоемкость годовой программы обработки деталей, нормочасы	8987	4236
Себестоимость (по изменяющимся затратам), руб/год	12 789	8307
В том числе:		
зарплата	5178	2436
амортизация	546	2453
затраты на ремонт	1532	426
электроэнергия	540	2832
режущий инструмент	4616	—
использование производственных площадей	357	100
Капитальные вложения, руб.	6382	19 902
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	—	3,1

¹ Краюхин Г. А. Эффективность производства и технический прогресс. Л., Ленгиздат, 1973. 199 с.

Если в 1960 г. за рубежом с помощью ЭХО обрабатывалось до 30% труднообрабатываемых материалов, то в 1970 г. уже 80%. [Л. 32]. Технология электроэрозионной обработки развивается по двум направлениям: обработка крупногабаритных (до 50 т массой) деталей (автомобильная промышленность); изготовление и обработка прецизионных деталей, в частности деталей электронной аппаратуры. Электроимпульсная обработка дает возможность организовать без крупных прессов и молотов листовую штамповку, обеспечив при этом повышение производительности труда в 1,5—2,5 раза,

сокращение металлоемкости и трудоемкости оснастки, снижение расхода листового материала на 15%.

Экономические преимущества ЭФХТ вызвали быстрый рост производства соответствующего оборудования. В СССР за пятилетие 1966—1970 гг. парк станков ЭФХТ увеличился в 2,5 раза и продолжает быстро расти [Л. 109]. В США общее число станков ЭФХТ превосходит 10 тыс. единиц, в том числе 7800 электроэрозионных и 2200 электрохимических. Еще в 1968 г. здесь было продано лазеров с принадлежностями на 300—400 млн. долларов [Л. 109; Л. 76, с. 21; Л. 41, с. 33; 21]*.

Для оценки перспектив развития ЭФХТ весьма интересны результаты оценок, проведенных за рубежом. Они представлены в табл. 10-13.

Таблица 10-13

Зарубежные прогнозы развития ЭФХТ¹

Годы	События
1980	Станет реальностью получение металлических деталей методом пластической деформации в сильном магнитном поле. Обработка лучом лазера станет играть более важную роль, чем обработка электронным пучком. Освоение лазерной технологии для сварки металлов с керамикой.
1985	Разработка комбинированных в одном станке процессов, объединяющих резанье с электрохимической и электроэрозионной обработкой, которые будут использоваться не менее чем в 20% случаев. То же по отношению к обработке давлением
1990	ЭФХТ даст возможность обрабатывать крупные детали с точностью 0,01 мм. ЭХО будет применяться при взаимном перемещении электрода и детали, что позволит применить для этих процессов станки с программным управлением. Освоение ЭФХТ для обработки неметаллических изделий (из пластика, камня и др.). Увеличение скорости резанья в 5 раз по сравнению с тем пределом, который допустим сегодня на металлорежущих станках.

¹ Верченко В. Р., Кубарев А. И., Голиков Е. С. Современные методы прогнозирования качества изделий. Обзорная информация, Госкомитет стандартов Совета Министров СССР, М., 1973 г. 46 с.; экспресс-информация „Технология оборудования механосборочного производства“, ВИНТИ, 1974, № 12, с. 3—9.

В отличие от традиционных процессов формообразования, ЭФХТ являются высокоэлектроемкими. Если на обычных металлорежущих станках расход электроэнергии

* См. также «Factory», 1966, 24, № 6, с. 80—81.

гии на 1 т снимаемого металла равен 150—4000 кВт·ч. то по отдельным видам электрофизико-химической обработки по данным [Л. 84] он составляет (в тыс. кВт·ч/1 т металла):

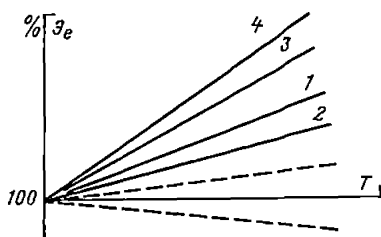
Ультразвуковое резание	60—80
Анодно-механическая обработка	3—25
Электроискровое прошивание:	
черновое	15—25
прецизионное	70—120
Электроабразивная обработка	8—125

Увеличение доли ЭФХТ в общей обработке металлов резаньем даже на 1%, даст существенное увеличение потребления электроэнергии, особенно на начальной стадии развития новых технологий.

В заключение необходимо отметить следующие общие тенденции развития потребления электроэнергии в машиностроительной промышленности. Суммарный

Рис. 10-2. Тенденции изменения электроемкости машиностроения в перспективе.

1 — общая электроемкость; 2 — силовая; 3 — технологическая, в том числе за счет новых технологий (4); — на 1 т металла; — на 1000 руб. продукции (диапазон изменения).



расход электроэнергии на тонну обрабатываемого металла будет увеличиваться, причем можно ожидать опережающих темпов роста расхода электроэнергии на технологические нужды (рис. 10-2). Электроемкость валовой продукции в расчете на 1000 рублей снижалась, что связано с уменьшением ее металлоемкости. Так, к 1975 г. она должна была сократиться по сравнению с 1970 г. на 125 кВт·ч, или на 16%. В перспективе изменение электроемкости во многом зависит от уровня электрификации термических процессов и санитарно-технических нужд, прежде всего развития кондиционирования воздуха,

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЫТА И РОСТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЖИЛИЩАХ

11-1. ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ БЫТА

Главной задачей современного этапа коммунистического строительства является обеспечение подъема материального благосостояния и культурного уровня советского народа. В решении этой задачи электрификации быта и сферы обслуживания, выступающей как материальная основа и один из решающих факторов преобразования условий жизни людей, принадлежит особая роль. С электрификацией связаны: механизация, а в последующем и автоматизация производственных процессов самообслуживания в жилищах; создание оптимального микроклимата, полностью отвечающего современным требованиям гигиены труда и быта; создание экологически полноценной среды, включая оздоровление атмосферы населенных пунктов; улучшение средств приема и воспроизводства информации.

Потребление электроэнергии на нужды быта и сферы обслуживания увеличивалось за последние годы очень быстро. В настоящее время оно составляет примерно $500 \text{ кВт} \cdot \text{ч/жителя}$, в том числе внутриквартирное электропотребление $235 \text{ кВт} \cdot \text{ч/жителя}$, или 47%. В жилищном хозяйстве и сфере обслуживания в 1975 г. потреблялось около 12% всей электроэнергии, производимой в СССР. Расход электроэнергии в быту и сфере обслуживания по отдельным процессам представлен в табл. 11-1.

Однако уровень электрификации быта еще недостаточен. Доля электроэнергии в полезном потреблении составляет в настоящее время в городах 6%, что примерно в 3 раза ниже, чем в промышленности. В среднем по стране она еще меньше, так как уровень электрификации быта в сельской местности заметно ниже, чем в городах.

Примерная структура потребления энергии в быту и сфере обслуживания в городах по нашей оценке дана в табл. 11-2. Как видно из приведенных данных, в потреблении энергии жилищного хозяйства и сферы обслуживания городов преобладают низкотемпературные процессы. Они составляют здесь 75% по подведенной и

Таблица 11-1

Потребление электроэнергии на душу населения, кВт·ч

Процессы	1970 г.		1975 г.*	
	Город	Село	Город	Село
Жилой сектор:				
освещение квартир	87	47	95	58
мелкие бытовые приборы	95	48	130	60
приготовление пищи	23	10	35	12
низкотемпературные процессы	15	5	20	6
Итого	220	110	280	136
Общественный сектор:				
освещение	115	10	145	25
освещение улиц	18	1	25	6
приготовление пищи	45	2	60	8
силовые нужды	120	7	166	20
водопровод и канализация	68	—	93	2
низкотемпературные процессы	4	—	6	1
Итого	370	20	495	62
Всего	590	130	775	198

* Оценка автора.

90%, по полезной энергии против соответственно 30 и 50%, в целом для народного хозяйства. Второе место занимают высокотемпературные процессы и очень малое — силовые и осветительные процессы (8% по подведенной и 4,2%, по полезной энергии). Это определило и специфическую структуру энергоносителей в быту и сфере обслуживания: около 1/2 всей потребности в подведенной и 2/3 в полезной энергии удовлетворяется за счет пара и горячей воды. Доля этих энергоносителей в покрытии потребностей низкотемпературных процессов еще выше: соответственно 62 и 73%. Остальная потребность в энергии этих процессов почти целиком покрывается за счет топлива прямого использования при ничтожной (около 1%) доле электроэнергии. Топливо прямого использования является также ведущим источником удовлетворения нужд высокотемпературных процессов (приготовления пищи).

Структура и масштабы потребления энергии жилищным хозяйством и сферой обслуживания в городах в 1970 г.

Процессы	Общее количество подведенной энергии						Структура по энергоносителям, %				Структура по процессам, %			
	Электроэнергия		Тепло			Всего, млн. Гкал	Электроэнергия			Топливо	Тепло			
	млрд. кВт·ч	млн. Гкал	Тепло, млн. Гкал	млн. усл.-ного топлива	млн. Гкал		Тепло	Электроэнергия	Топливо		Всего			
По подведенным энергоносителям														
Освещение и светозвуковые	27,1	24,0	—	—	—	24,0	100	—	—	100	34	—	—	3
Силовые	40,6	35,0	—	—	—	35,0	100	—	—	100	50	—	—	5
Высокотемпературные	8,3	7,0	—	16	110	117,0	6	—	—	94	10	—	37	17
Низкотемпературные	5,0	4,3	320	27	190,7	515,0	1	62	37	100	6	100	63	75
Итого	81,0	70,3	320	43	300,7	691,0	10	46	44	100	100	100	100	100
По полезной энергии ¹														
Освещение и светозвуковые	—	1	—	—	—	1	100	—	—	100	3	—	—	0,2
Силовые	—	21	—	—	—	21	100	—	—	100	72	—	—	4,0
Высокотемпературные	—	3	—	—	30	33	9	—	91	100	10	—	21	6,8
Низкотемпературные	—	4,3	320	—	114,7	439	1	73	26	100	15	100	79	89,0
Итого	—	29,3	320	—	144,7	494	6	65	29	100	100	100	100	100

¹ Световая энергия осветительных приборов, энергия на валу двигателя у потребителя, полезно используемое тепло в приборах приготовления пищи, горячей воды, в отопительных приборах и т. д.

Электроэнергия в быту и сфере обслуживания используется пока преимущественно в тех случаях, когда применение других энергоносителей или технологически невозможно, или явно экономически неэффективно, или по своему полезному эффекту несоизмеримо с электричеством. Вместе с тем универсальный характер электроэнергии особенно важен для комплекса энергетических процессов жилого сектора. По технологическим условиям электроэнергия способна заменить другие энергоносители во всех без исключения бытовых процессах.

Жилой сектор предъявляет к энергоносителям ряд повышенных требований. Это, во-первых, делимость, связанная с относительно малой мощностью энергетического оборудования квартир; во-вторых, легкость в управлении, обеспечивающая использование энергоносителя массовым потребителем, не имеющим специальной квалификации; в-третьих, мгновенность действия; в-четвертых, гигиеничность энергоносителя. Всем этим требованиям полностью удовлетворяет электроэнергия. Она имеет широкие возможности для обслуживания основных функциональных процессов в жилищах и создания оптимальных условий окружающей среды в квартирах.

Основные функциональные процессы в жилище по нашим представлениям можно классифицировать в соответствии с табл. 11-3. Как видно из таблицы, несмотря на ожидаемое в перспективе развитие общественного обслуживания, большая часть хозяйственных процессов в жилище сохраняет свое значение, а сокращение трудоемкости домашнего хозяйства остается одной из важнейших задач электрификации быта. Однако одновременно значительно возрастет время, уделяемое личной гигиене, самообразованию и отдыху. В этой связи необходимо отметить большое социальное значение таких приборов, как телевизоры и радиоприемники, обеспечивающих оперативное получение текущей политической, научной и художественной информации. Внедрение этих приборов означает осуществление предвидения В. И. Ленина, о том, что «... в настоящее время, когда возможна передача электрической энергии на расстояние, ... нет ровно никаких технических препятствий тому, чтобы сокровищами науки и искусства, ве-

Таблица 17-3

Основные функциональные процессы в жилище

Индекс	Наименование процессов	Тенденции развития	Электроприборы, которые обеспечивают процессы	Затраты труда ¹ на семью в год, ч		
				без электрификации и общественного обслуживания	с общественным обслуживанием	с электрификацией и общественным обслуживанием
1	Хозяйственные	В связи с развитием общественного питания следует ожидать некоторого сокращения объема работ по процессам		1900	1450	690—700
1-1	Обеспечение питания			970	800	360
1-1-1	Приобретение и хранение продуктов и пищи			430	360	180
1-1-2	Приготовление пищи			220	180	100
1-1-3	Тепловая обработка пищи			220	180	50
1-1-4	Мытье посуды		Посудомоечные машины	100	80	30

Индекс	Наименование процессов	Тенденция развития	Электроприборы, которые обеспечивают процессы	Затраты труда на семью в год, ч		
				без электрификации и общественного обслуживания	с общественным обслуживанием	с электрификацией и общественным обслуживанием
1-2	Обработка белья	В связи с развитием общественных прачечных, а в дальнейшем выпуска предметов домашнего пользования следует ожидать сокращения объема работ по процессам		510	220	100
1-2-1	Стирка		Стиральные машины, электроводонагреватели	250	100	30
1-2-2 1-2-3	Сушка Глажение		Сушильные шкафы Электроутюги, гладильные машины	20- 240	10 100	10 60
1-3	Уборка квартиры	Объем работ увеличивается с ростом жилой обеспеченности	Пылесосы, покатеры и т. п.	240	240	180
1-4	Ремонтные работы по дому и прочее	Сокращаются с развитием общественного обслуживания	Электройнструмент	180	100	50-60

Индекс	Наименование процессов	Тенденция развития	Электроприборы, которые обеспечивают процессы	Затраты труда на семью в год, ч		
				без электрификации и общественного обслуживания	с общественной обслуживанием	с электрификацией и общественным обслуживанием
2	Личная гигиена	—	Электрощетки, электробритвы, фены, электроодежда и другие	—	—	—
3	Самообразование и активный отдых	Объем деятельности увеличивается с ростом уровня жизни населения (увеличением фонда свободного времени, повышением культурного уровня и творческой активности)	Телевизоры, диктофоны и магнитофоны, электропроигрыватели, радиоприемники и радиолы	—	—	—
3-1	Получение, воспроизведение и обработка информации			—	—	—
3-2	Самodelки		Электронинструмент	—	—	—
3-3	Прочие формы активного отдыха		Электропроигрыватели, магнитофоны и т. п.	—	—	—

ками скопленными в немногих центрах, пользовалось все население...»¹.

Для нормальной жизнедеятельности окружающая человека в жилище среда должна характеризоваться параметрами, приведенными в табл. 11-4. Эти парамет-

Таблица 11-4

Основные гигиенические параметры жилищ

Параметры	Значение	Оборудование и приборы, обеспечивающие эти параметры	Примечание
Температура воздуха, °C	18—20	Кондиционеры, стационарные отопительные приборы и установки, приборы вспомогательного электроотопления: конвекторы, рефлекторы и т. п.	Для средней полосы; летом в южных районах допустимо до 27°C в зависимости от наружной температуры
Относительная влажность, %	40—60	Увлажнители, кондиционеры	—
Объем воздуха, $\frac{\text{м}^3/\text{ч}}{\text{м}^3}$	2—22	Электровентиляторы	—
Шум, дБ	До 50	—	—
Загазованность по CO, мг/л	0,002	Воздухоочистители, ионизаторы, электроплиты	—

ры могут быть стабильными и переменными. Так, например, современные гигиенические параметры отопления включают и те, и другие. Переменные параметры: возможность регулирования температуры во времени. В ночное время температура воздуха в спальнях может быть понижена на 3—4°C; при отсутствии людей в квартире может поддерживаться дежурная температура до +10+15°C при условии быстрого набора температуры в случае необходимости; температура воздуха в отдельных помещениях квартиры может быть различной в зависимости от возраста и потребностей

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 5, с. 150—151.

проживающих в них людей. Стабильные параметры: температура воздуха должна быть достаточно равномерной как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Разница в температуре в горизонтальном направлении допускается до 2°C , в вертикальном направлении не более $2\text{—}2,5^{\circ}\text{C}$ на каждый метр высоты помещения; внутренние поверхности ограждений (стены, потолок) могут нагреваться до температуры, превышающей температуру воздуха не более чем на $4\text{—}6^{\circ}\text{C}$; поверхность нагревательных приборов должна иметь температуру не более 80°C .

Все эти требования легко выполняются при системах электроотопления. В системах современного центрального или децентрализованного отопления выполняются требования стабилизации параметров. Для обеспечения переменных параметров требуется установка специальных автоматических терморегуляторов, не обладающих сегодня еще достаточной надежностью и экономичностью. Весьма неустойчивы требования к воздухообмену: они зависят в значительной степени от загазованности квартир, т. е. от энергоносителей, применяемых для приготовления пищи, горячей воды и отопления.

Использование преимуществ электроэнергии в быту связано с рядом социально-экономических условий, например, жилой обеспеченностью, уровнем благоустройства жилищ, составом семьи, родом деятельности людей и их образовательным уровнем, образом жизни и национальными традициями, которые могут влиять на состав электробытового оборудования и характер его использования. Однако выделить влияние каждого из этих факторов здесь не представляется возможным. Поэтому ниже рассматриваются общие закономерности и условия перспективного использования электроэнергии в жилом секторе.

Все современные энергетические процессы быта и сферы обслуживания можно разбить на две группы: первую, где применение электроэнергии предreshено особенностями технологии (освещение, светозвуковые и силовые процессы). Оборудование для этих процессов приобретается населением через торговую сеть, а размеры использования электроэнергии только косвенно зависят от стоимости ее получения и распределения. Они контролируются государством также косвенно — через систему тарифов на электроэнергию и индекс на

бытовые приборы; вторую, в которой возможно использование наряду с электроэнергией и других энергоносителей. Установка энергетического оборудования здесь осуществляется централизованно в процессе строительства или реконструкции жилого фонда. Одновременно создаются условия для его использования (энергетические вводы, аппаратура учета и контроля потребления энергии). К этим процессам относится приготовление пищи, горячей воды, отопление и кондиционирование воздуха¹.

Отдельные процессы и группы процессов различны между собой по энергоемкости, социальному эффекту применения электроэнергии, возможностям их электрификации. Поэтому условия использования электроэнергии рассматриваются нами отдельно для каждого процесса по следующим наиболее важным направлениям электрификации быта. Для первой группы: создание комплекса электробытовых приборов культурного и хозяйственного назначения и полное обеспечение им населения страны. Для второй группы: перевод на электроэнергию процессов приготовления пищи; применение электроэнергии для приготовления горячей воды, тепло- и холодоснабжения жилых и общественных зданий. Следует отметить, что изученность этих направлений далеко не одинакова.

Вопросам внедрения электробытовых приборов и электрификации приготовления пищи посвящено много работ научных, проектных организаций и отдельных ученых. Эти работы позволили решить принципиальные вопросы применения электроэнергии для приготовления пищи. В то же время вопросы использования электроэнергии для приготовления горячей воды и отопления остаются еще в значительной мере дискуссионными и требуют дальнейшего изучения.

11-2. КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОБЫТОВЫХ ПРИБОРОВ И ЭЛЕКТРОПИЩЕПРИГОТОВЛЕНИЕ

Производство электробытовых приборов, кроме радиоприемников и электроутюгов, началось в СССР

¹ Это деление на группы, конечно, весьма условно. Например, мелкие бытовые нагревательные приборы для приготовления пищи, горячей воды и отопления относятся скорее ко второй группе, хотя процессы этой группы могут осуществляться частично за счет приборов первой группы.

сравнительно недавно, с 50-х годов, но развивалось быстрыми темпами (табл. 11-5) *.

Рост производства электробытовых приборов в сочетании с повышением уровня жизни населения и все возрастающим обеспечением жильем способствовали за последние 10—15 лет резкому росту обеспеченности населения электробытовыми приборами (табл. 11-6). Как

Таблица 11-5

**Производство основных электробытовых приборов
в СССР, тыс. шт.**

Приборы	Годы						
	1940	1950	1955	1960	1965	1972	1974
Радиоприемники и радиолы широко-вещательные	160	1072	3563	4165	5160	8842	8753
Телевизоры	0,3	11,9	495	1726	3355	5980	6569
Магнитофоны	—	—	Нет сведений	128	453	1636	2112
Холодильники	3,5	1,2	151	529	1675	5030	5423
Стиральные машины	—	0,3	87	895	3430	3001	3075
Электропылесосы	—	6,1	131	501	800	2168	3319
Электрополотеры	—	—	Нет сведений	75	66	137	122
Электроутюги	420	508	5290	5006	3649	10 786	13 500

видно из этой таблицы, обеспеченность основными приборами и объем продажи электро- и радиотоваров росли значительно быстрее, чем шло увеличение личного потребления населения и общего объема розничного товарооборота. Вместе с тем СССР по обеспеченности населения некоторыми видами приборов еще отстает от ряда развитых капиталистических стран (табл. 11-7). Существенно отставание насыщенности бытовыми приборами сельского населения. В частности, это связано с недостатками в торговле, в организации ремонта бытовых машин и приборов на селе, а также со специфическими условиями жизни. Так, например, наличие на селе погребов снижает спрос на холодильники.

* Таблицы 11-5—11-7 составлены в основном по данным статистических сборников «Народное хозяйство СССР», М., «Статистика» (издания 1960—1975 гг.).

Некоторые показатели роста уровня жизни населения

Показатели	Годы					Рост с 1960 г. по 1970 г., %
	1960	1965	1970			
			Всего	Город	Село	
Личное потребление населения в национальном доходе в те- кущих ценах, руб./жителя	440	560	735			167
Объем розничного товарооборо- та в текущих ценах на 1 жи- теля, индекс	100	133	200			200
В том числе:						
продовольственные товары, индекс	100	136	195			195
непродовольственные това- ры, индекс	100	131	205			205
из них электро- и радиото- вары, руб./жителя	5,1	11	20			400
Отношение продажи электро- и радиотоваров к личному по- треблению населения, руб./100 руб.	1,20	1,97	2,7			250
Общая жилая площадь ¹ , м ² /жи- теля	9,3	10,3	11,3			121
Обеспеченность населения, шт./на 100 семей:						
радиоприемниками и радио- лами	46	63	72	80	55	155
телевизорами	8	26	51	60	44	690
холодильниками	3,6	11	32	40	20	890
стиральными машинами	4,5	21	52	60	41	1160
пылесосами	4,0	7	12	18	3	300
электроутюгами	50	78	81	95	68	186

¹ В городах и поселках городского типа.

Приведенные данные показывают, что в СССР достигнуты большие успехи в области обеспечения населения основными электробытовыми приборами и по ряду показателей наша страна достигает уровня развитых капиталистических стран¹. Еще незначительно насыщение населения СССР такими приборами, как посудомоечные машины, универсальные кухонные машины, пылесосы.

¹ Насыщенность населения электробытовыми приборами в этих странах в период 1970—1975 гг. существенно не менялась.

Насыщенность населения электробытовыми приборами, штук на 100 семей

Наименование	СССР*		1970 г.			
	1973 г.	1974 г.	США	Англия	ФРГ	Япония
Морозильники	Не выпускаются		27	Нет сведений	15	Нет сведений
Холодильники	49	55	100	55	80	74
Стиральные машины	60	62	94	63	80	81
Пылесосы	14	16	92	82	80	51
Посудомойки	Незначительно		18	Нет сведений	3	50
Универсальные электрические кухонные машины	Незначительно		34	36	60	12
Телевизоры	67	71	100	90	65	Нет сведений
Радиоприёмники и радиолы	74	77	125	80	85	Нет сведений

* Л. 70, 71.

Из потенциальной номенклатуры электробытовых приборов хозяйственного и культурного назначения, включающей около 150 наименований, 15—20 предметов, в том числе холодильник, морозильник (для сельской местности), пылесос, посудомоечная машина, электроутюг, стиральная и гладильная машина (для большинства семей), телевизор, радиоприемник, электропроигрыватель, а также некоторые другие приборы, должны составить минимальный набор. Очевидные социальные преимущества применения этих приборов выдвигают обеспечение ими всего населения в качестве первоочередной задачи электрификации быта. Практически такими приборами, как телевизоры, холодильники, стиральные машины, пылесосы, можно обеспечить все население в ближайшие 5—7 лет.

Решениями XXV съезда КПСС намечено расширение производства новых товаров культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода: бытовых морозильников, одно- и многокамерных холодильников емкостью до 300 л с автоматическим оттаиванием, цветных и переносных телевизоров, радиоприемников и радиол высшего класса, видеомагнитофонов, автоматических стиральных и бытовых гладильных машин.

Стоимость комплекса электробытовых приборов¹

Приборы	Число приборов шт./100 семей	Средняя стоимость, руб./шт.	Общая стоимость на семью, руб.
Телевизоры	130—150	400	520—600
Радиоприемники	150—170	100	150—170
Холодильники	100	250	250
Пылесосы	100	50	50
Утюги	100	5	5
Морозильники	30—40	400	120—160
Стиральные машины	80	160	112
Гладильные машины	30—40	50	15—20
Универсальные кухонные машины	30—40	150	45—60
Посудомойки	30—40	80	24—32
Сушилки для одежды	10—20	100	10—20
Итого (округленно)			1300—1480
Прочие, 20%			260—300
Всего			1560—1780

¹ Оценка с учетом повышения качества продукции.

Проведенные нами исследования показали, что рациональный комплекс электробытовых приборов в расчете на 100 семей может включать 130—150 цветных и черно-белых телевизоров и 150—170 радиоприемников (в том числе и транзисторные); 100 холодильников и такое же количество электропылесосов и утюгов; 30—40 морозильников (преимущественно в сельской местности); 70—80 стиральных машин, 30—40 гладильных, 40—50 посудомоечных, 30—40 универсальных кухонных машин¹, 10—20 сушилок для одежды. Кроме того, каждая семья должна иметь ряд других приборов из потенциального набора. Эта переменная часть комплекса, формируемая в зависимости от условий жизни и индивидуальных запросов семьи, может включать электробритвы, электрофены, электромассажные приборы, электромузыкальные инструменты, магнитофоны, электроинструмент для различных работ, электроигрушки, электрополотеры и т. п. Общая стоимость такого набо-

¹ Они, как и гладильные машины и посудомойки, предназначены для больших семей.

ра электробытовых приборов может быть ориентировочно оценена данными табл. 11-8. При среднем сроке службы приборов с учетом повышения их надежности в 10 лет формирование указанного комплекса займет также 10 лет. Это будет означать, что средняя семья должна затрачивать на приобретение электробытовых приборов 160—180 руб. в год. Если учесть, что в 1970 г. эта величина составляла 65—80 руб. на семью (21 руб. на 1 жителя в год)¹, а уровень доходов населения будет и дальше быстро возрастать, приведенная величина представляется на перспективу вполне приемлемой.

Потребление электроэнергии бытовыми приборами с ростом обеспечения ими населения страны значительно возрастет. Оценка электропотребления, выполненная ниже, основана на обеспеченности населения электроприборами, структуре приборов каждого вида по мощности и числу часов их использования.

Из общего числа телевизоров, которыми располагает население, 75% — ламповые (из них 5% цветные) и 25% — с полупроводниковыми элементами. В перспективе число ламповых телевизионных приемников снизится до 50—60%. Преобладание ламп сохранится в основном у цветных телевизоров, доля которых может быть повышена до 30—50%. При средней мощности черно-белого лампового приемника 160 Вт, полупровод-

Таблица 11-9

Расчет средней мощности телевизоров

Виды телевизоров	Насыщенность на 100 семей				Средняя мощность прибора, Вт	
	1974 г.		Перспективный комплекс			
	шт.	%	шт.	%	1974 г.	Перспективный комплекс
Черно-белые ламповые	50	70	30	20	160	160
Транзисторные	18	25	60	40	20	20
Цветные ламповые	3	5	45	30	240	240
Транзисторные	—	—	15	10	—	30
Всего	71	100	150	100	130	115

¹ Оценка автора на основании данных по структуре розничного товарооборота [Л. 70].

ной кухонной машины можно считать достаточной и не требующей увеличения. На основании приведенных данных в табл. 11-11 показано потребление электроэнергии перспективным комплексом бытовых приборов.

В целом перспективный комплекс электробытовых приборов требует за год электроэнергии больше примерно в 2,4 раза, чем потреблялось на эти цели в 1975 г. в городах и в 4,8 раза — в сельской местности. Если условно принять на перспективу рост душевого потребления электроэнергии на нужды бытовых приборов, который имел место в пятилетке 1971—1975 гг. *, то расход электроэнергии на указанный выше комплекс был бы достигнут в городах примерно за 10 лет.

Предлагаемый нами перспективный комплекс электробытовых приборов по уровню потребления электроэнергии согласуется с прогнозом Ю. Н. Савенко и Е. О. Штейнгауза, которые в 1970 г. оценивали потребление электроэнергии бытовыми приборами (включая расход электроэнергии на освещение) на период 10—12 лет вперед в размере 450—475 кВт·ч/чел. в год [Л. 93, с. 87].

Интересно сопоставить эти данные с зарубежными прогнозами. Так, например, Итальянская государственная энергетическая кампания ENEL прогнозирует 3 типа жилища по уровню комфортности и электрификации быта. Их характеристика представлена в табл. 11-12. Как видно, предлагаемый для СССР комплекс не уступает по насыщенности приборами наиболее комфортному типу итальянского жилища, рассчитанному на лиц с высоким уровнем доходов. Для Италии, не имеющей централизованного теплоснабжения, характерны повышенные мощности стиральных машин и посудомоек, оборудованных электроподогревом.

Для приготовления пищи к началу 1971 г. около 54% городского и 18% сельского населения СССР пользовались природным и сжиженным газом. Остальная часть готовила пищу на огневых плитах на твердом топливе, керосинках, керогазах и, частично, на переносных электроплитках небольшой мощности. Лишь небольшая доля населения использовала стационарные электроплиты. В соответствии с IX пятилетним планом развития народного хозяйства страны уровень газифи-

* В городах 150%.

Таблица 11-12

Характеристика прогнозных уровней электрификации быта в Италии¹

Наименование приборов	Тип жилищ					
	Повышенной комфортности		Средней комфортности		Экономный	
	Число приборов на семью	Установленная мощность, Вт/семью	Число приборов на семью	Установленная мощность, Вт/семью	Число приборов на семью	Установленная мощность, Вт/семью
Электроутюг	1	600	1	600	1	600
Холодильник	1	300	1	300	1	300
Стиральная машина	1	3000	1	3000	1	3000
Телевизор	1,5	300	1	200	0,95	190
Электромиксер	1	400	0,9	360	0,8	320
Электрофен	0,95	380	0,9	360	0,7	280
Электропылесос	0,95	380	0,9	360	0,6	240
Электрополотер	1	400	0,9	360	0,3	120
Посудомойка	0,95	3800	0,6	2400	0,1	400
Итого		9560		7940		5450

¹ Cali Alfredo, Cavallaro Calogero, Messina Natale, Dimensionamento degli impianti di distribuzione dell'energia elettrica nei centri urbani. — „Tech. e Ricostr.“, 1973, № 1.

кации приготовления пищи к 1975 г. составил, %:

	Город	Село
Население, пользующееся газом	65	40
В том числе сетевым	55	10

По сравнению с приборами для приготовления пищи на твердом и жидком топливе газовые плиты обеспечивают резкое улучшение общего гигиенического состояния жилища, ликвидируют трудоемкие работы, связанные с доставкой и сжиганием топлива, в несколько раз сокращают время приготовления пищи. Вместе с тем современным газовым плитам, как известно, свойственен и ряд недостатков. При сжигании газа выделяются вредные продукты — окись углерода, углекислый газ и другие — в размерах, значительно превышающих допустимые нормы. Использование газа приводит к ухудшению температурно-влажностного режима в помещениях. При длительном горении газа температура воздуха в кухнях увеличивается на 7—10°C, и в южных районах при отсутствии кондиционирования

температура воздуха в кухнях достигает летом 65—70°C. При этом на каждый кубометр сжигаемого газа, что примерно соответствует суточному расходу на семью, выделяется около 3 кг влаги. Вентиляция с обычной кратностью обмена на кухне 0,5—3,0 не обеспечивает необходимого снижения концентрации вредных веществ. Как показали расчеты, обеспечить требования ГОСТ можно лишь при 40-кратном обмене воздуха, что практически неосуществимо. Решающим средством снижения вредных веществ может быть создание газовой плиты с закрытой горелкой и удалением продуктов сгорания в дымоход. Однако это приведет к уменьшению к. п. д. газовой плиты и удорожанию как плиты, так и строительной части зданий. В СССР надежные газовые плиты такого типа еще не созданы, хотя работа в этом направлении ведется.

Кардинальным решением проблемы является переход на стационарные электрические плиты, которые полностью лишены недостатков газовых плит и позволяют регулировать, а при соответствующей аппаратуре и автоматизировать процессы приготовления пищи.

Электроплиты уже широко применяются за рубежом. В развитых странах Западной Европы обеспеченность населения электроплитами составляет от 12—15% (Франция, Бельгия) до 50—65% и выше (Англия, ФРГ, Скандинавские страны). В США, где газификация жилого фонда была развернута еще до 1940 г., газовые плиты вытесняются электроплитами. В настоящее время ими оборудовано около 50% жилого фонда страны. Широко используются электроплиты в ГДР (20%), Чехословакии (50%), Болгарии. В СССР, где производство электроплит было начато 15 лет назад, парк электроплит приближается в настоящее время к 1,5 млн. штук, что примерно соответствует 20 плитам на 1000 семей.

Внедрению стационарных кухонных электроплит в СССР до последнего времени мешал ряд факторов, в том числе неверное представление об экономичности их использования. Еще 10—12 лет назад считалось, что установка одной плиты мощностью 5,1 кВт требует увеличения мощности электростанций на 1,2—1,6 кВт*.

* Ряд исследователей, например, Е. О. Штейнгауз, считали этот показатель существенно завышенным и давали более низкое его значение [Л. 54, с. 240].

Стоимость электроплит определялась в соответствии с показателями их выпуска на Лысьвенском заводе в размере 90—180 руб. за штуку. В этих условиях приведенные затраты на электрификацию приготовления пищи оказывались в 1,5—2 и более раз выше, чем на ее газификацию.

Между тем многочисленные натурные исследования Академии коммунального хозяйства имени К. Д. Памфилова, Дальневосточного политехнического института, Грузинского научно-исследовательского института энергетики и гидротехнических сооружений, красноярского Промстройинипроекта и других организаций в разных городах страны показали, что в условиях СССР среднее участие электроплиты при мощности 5,1—8,0 кВт в вечернем минимуме нагрузки энергосистем составляет всего 0,25—0,26 кВт, а требуемый рост мощности электростанций с учетом потерь в электрических сетях и резервов не превышает 0,35—0,38 кВт. Именно эта величина определяет необходимое увеличение мощности магистральных и большей части распределительных электрических сетей при электрификации пищевого приготовления. Для внутридомовых и квартирных вводов, а также низковольтных сетей в сельских районах пропускная способность должна обеспечивать от 1—2 до 5—8 кВт на плиту. Расширение производства электроплит позволило снизить их единичную стоимость. Этим оправдались предсказания многих специалистов, что стоимость электроплиты должна превышать стоимость газовой плиты аналогичной тепловой мощности всего на 15—20%. Все это обеспечило резкое увеличение эффективности стационарных плит в СССР. Экономическая эффективность использования газовых и электрических плит в новом жилом фонде городов оценена нами в табл. 11-13, откуда видно, что в условиях Центра приготовление пищи на электроплитах обходится по приведенным затратам примерно на 3—6 руб./чел. в год дороже, чем на плитах с открытыми горелками, использующих природный газ. В районах, отстоящих от магистральных газопроводов, приготовление пищи на электроплитах эффективнее использования для этой цели сжиженного газа. В Сибири только в некоторых городах, имеющих природный газ, приготовление пищи дешевле на газовых плитах с открытыми горелками. Во всех остальных случаях экономичнее электроплиты. Для

Таблица 11-13

**Экономическая эффективность схем
энергообеспечения пищевого производства**
(Приведенные затраты, руб./чел. в год)

Показатели	Застройка			
	многоэтажная		одноэтажная	
	Центр европей- ской части СССР	Сибирь	Центр европей- ской части СССР	Сибирь
Электроплиты				
Расход электроэнергии, кВт·ч	340	340	340	340
Приведенные затраты в схему (без стоимости энергоносителя) при стоимости электроплит, руб.:				
50	5,5	5,5	5,8	5,8
70	6,6	6,6	6,9	6,9
90	7,7	7,7	8,0	8,0
Затраты на электроэнер- гию	5,4	2,8	5,4	2,8
Суммарные затраты при стоимости электроплит, руб.:				
50	10,9	8,3	11,2	8,6
70	12,0	9,4	12,3	9,7
90	13,1	10,5	13,4	10,8
Газовые плиты				
	Природ- ный		Сжиженный	
Расход газа, кг условного топлива	80	80	80	80
Приведенные затраты в схему (без стоимости энергоносителя, но с учетом его местного транспорта)	5,5	8,0	12,8	13,7—17,7
Закрывающие затраты на топливо, франко-район потребления:				
современные	1,3	2,3	2,1	2,3
с учетом возможного удорожания	1,8	3,4	3,1	3,4
Суммарные затраты: при современной стои- мости газа	6,8	10,3	14,9	16—20
с учетом возможного удорожания	7,3	11,4	15,9	17—21

районов Сибири, не имеющих природного газа, предпочтительность электроплит по сравнению с плитами на сжиженном газе при любом типе застройки особенно заметна. Стоимость сжиженного газа в таких городах, как, например, Чита достигает 80—100 руб/т условного топлива и значительно выше стоимости эквивалентного количества электроэнергии.

При сравнении электроплит с плитами на твердом топливе преимущества электроэнергии становятся особенно очевидными: плиты на твердом топливе в летний период (а в домах с центральным отоплением — круглый год) работают с к. п. д. 10—11%. Это отвечает их среднегодовому к. п. д. в 17—25%, т. е. в 2—2,5 раза ниже, чем у газовых плит, и в 3—4 раза ниже, чем у электроплит. Не случайно, поэтому, как показали обследования в городах Сибири и Дальнего Востока, население практически отказывается от использования для приготовления пищи твердого топлива и полностью переходит на переносные, часто недостаточно экономичные электроплитки. Поэтому, как ни парадоксально, электрическая нагрузка многоэтажных домов, оборудованных огневыми плитами, оказывается часто выше, чем таких же домов, оборудованных стационарными электроплитами. Следует отметить, что прямое экономическое сопоставление электрических и газовых плит не вполне оправдано. Оба эти агрегата далеко не равноценны в санитарно-гигиеническом и комфортном отношениях. Использование же закрытых горелок в газовых печах удорожает схему газоснабжения примерно в 1,5 раза и приводит к неоспоримым экономическим преимуществам электроэнергии.

В настоящее время установка электроплит может рассматриваться как одно из главных перспективных направлений энергоснабжения процессов приготовления пищи в СССР. В решениях XXV съезда КПСС намечено расширение производства электроплит повышенной комфортности. Необходимо разработать определенную очередность внедрения электроплит по районам страны, типам домов и населенных пунктов. Исследование этого вопроса показало, что на первом этапе электроплиты должны устанавливаться в новом жилом фонде: в восточных районах страны, лишенных природного газа или с ограниченными его ресурсами, в многоэтажных домах, оборудованных центральным отоплением; во всех рай-

онах страны в домах повышенной этажности (10 этажей и выше), поскольку при использовании газовых плит в этих домах создается неблагоприятная гигиеническая обстановка; в многоэтажных домах городов Средней Азии и Закавказья, чтобы способствовать созданию более благоприятного температурного режима на кухнях и в жилых помещениях; в одно-двухэтажных домах в районах, где нет возможностей или неэкономично осуществлять газификацию.

Таким образом, на первом этапе электроплиты целесообразно устанавливать прежде всего там, где они эффективны при прямом сопоставлении с газовыми плитами, а их гигиенические преимущества служат дополнительным стимулом для использования электроэнергии. В новом жилом фонде они будут вытеснять

Таблица 11-14

**Расходы городской семьи на оплату энергии
для освещения, бытовых приборов и приготовления пищи
(при коэффициенте семейности 3,5).**

Показатели	Потребление энергии	Расходы на семью в год в домах, оборудованных плитами, руб.	
		газовыми***	электрическими****
Природный газ, м ³	240	4,8*	—
Электроэнергия, кВт·ч:			
приготовление пищи	1000**	—	20
освещение и бытовые приборы:]			
по уровню потребления 1965 г.]	490	19,6	9,8
то же 1970 г.	640	25,6	12,8
то же 1975 г.	910	36,4	18,2
по уровню потребления, соответствующего перспективному комплексу бытовых приборов	2350	94,0	47,0
Суммарные расходы на энергию:			
по уровню потребления 1965 г.		24,4	29,8
то же 1970 г.		30,4	32,8
то же 1975 г.		41,2	38,2
по уровню потребления, соответствующему перспективному комплексу бытовых приборов		98,8	67,0

* Из расчета 2 коп./м³.

** Годовой расход электроэнергии в электроплитах составляет 1000—1200 кВт·ч на семью. С учетом развития сети общественного питания и производства полуфабрикатов можно ожидать его сокращения до 900—1000 кВт·ч.

*** Тариф 4 коп./кВт·ч.

**** Тариф 2 коп./кВт·ч.

прежде всего плиты на твердом топливе и на сжиженном газе. Только в домах повышенной этажности и жилом фонде республик Средней Азии и Закавказья внедрение электроплит будет происходить за счет отказа от использования плит на природном газе. Следовательно, на первом этапе электрификация и газификация приготовления пищи будут развиваться параллельно — дополняя друг друга.

По оценке Д. С. Чукаева [Л. 117], число квартир, оборудованных электроплитами, может достигнуть к 1980 г. 6% общего жилого фонда.

На втором этапе электроплитами будет оснащаться весь новый жилой фонд во всех районах страны.

Важным вопросом является замена газовых плит электроплитами в старом жилом фонде, относимая нами к третьему этапу электрификации пищевого приготовления. По-видимому, эту замену целесообразно проводить по мере износа разводящих и домовых газовых сетей (это мероприятие уже осуществляется, например, в центре г. Москвы).

По нашей оценке соотношение между этапами по потребности в электроплитах для нового жилого фонда может составить (%): первый этап 48—60, в том числе по очередям: 1-я — 10—12, 2-я — 3—5, 3-я — 5—7, 4-я — 30—36; второй этап 40—52 (см. рис. 11-1).

В связи с широкой электрификацией приготовления пищи необходим анализ тарифа на электроэнергию в жилых квартирах. Как известно, с началом планомерной установки электроплит для домов с этим обо-

рудованием был принят единый тариф на электроэнергию в размере 2 коп/кВт·ч. Величина этого тарифа определялась из условия, что население, пользующееся электроплитами, не должно переплачивать более 30% денежных средств на энергию для освещения, бытовых приборов и приготовления пищи по сравнению с аналогичным расходом семей, проживающих в квартирах с газовыми плитами.

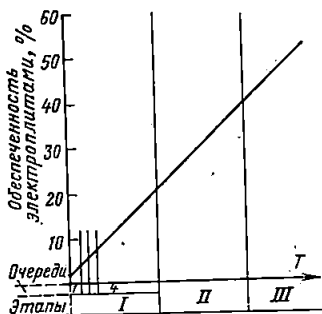


Рис. 11-1. Этапы электрификации приготовления пищи.

Однако при таком построении тарифа размер переплаты оказался величиной переменной, уменьшающейся при росте потребления электроэнергии на нужды освещения и бытовых приборов. В настоящее время население, пользующееся электроплитами, часто платит за энергию меньше, чем население, пользующееся газовыми плитами (табл. 11-14).

Приведенные данные указывают на возможное в будущем несоответствие действующих тарифов на электроэнергию для домов с электроплитами тарифам на газ и электроэнергию для домов с газовыми плитами. По нашему мнению, его устранение должно заключаться в изменении системы тарифов и введении специального тарифа на электроэнергию для плит (с отдельным учетом этой электроэнергии), чтобы обеспечить некоторую доплату за комфорт по сравнению с газовыми плитами (при этом тариф на электроэнергию для освещения и бытовых приборов должен быть во всех домах одинаковым, например 4 коп. за 1 кВт·ч).

11-3. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ОТОПЛЕНИЯ И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Низкотемпературные процессы — получение горячей воды и отопление жилых и общественных зданий, — занимают ведущее место в энергетических потребностях быта и сферы обслуживания. В 1970 г. на них приходилось свыше 80% всей полезной энергии, использованной в этом секторе народного хозяйства. На производство 830 млн. Гкал тепла для нужд горячего водоснабжения и отопления в 1970 г. израсходовано около 180 млн. т условного топлива, или 15% первичных энергетических ресурсов страны.

Генеральным направлением теплоснабжения городов в СССР является его централизация на базе ТЭЦ и крупных котельных. Такое направление обеспечивает большую эффективность теплоснабжения и высокий КПД энергетических ресурсов — до 75—80%. В 1970 г. от ТЭЦ, крупных районных и промышленных

Вследствие неполной загрузки теплофикационных мощностей и перетопов возможности централизованного теплоснабжения пока полностью не использованы.

котельных покрывалось 41% теплопотребления быта и сферы обслуживания в городах;

	млн. Гкал	%
Все теплопотребление	515	100
В том числе:		
централизованное	210	41
ГРЭС и ТЭЦ	140	27
районные и промышленные котельные	70	14
децентрализованное	301	58
мелкие котельные	86	17
индивидуальные приборы (отопительные печи и др.)	215	41
за счёт электроэнергии	Около 4	1

В 1970 г. около 400 городов и рабочих поселков обслуживалось теплоэлектроцентралями. В этих городах централизованным теплоснабжением от ТЭЦ обеспечена примерно половина всех жилых и общественных зданий. В столицах республик и крупных промышленных центрах жилой сектор теплофицирован или снабжается теплом от крупных котельных на 60—70%, в городах-новостройках практически все тепловое потребление осуществляется за счет теплоэлектроцентралей. В 1975 г. охват жилищно-коммунального сектора централизованным теплоснабжением еще более возрос. В будущем перспективная концентрация и плотность тепловой нагрузки в городах позволят довести долю централизованного теплоснабжения примерно до 80%. Централизованное теплоснабжение будет обслуживать в перспективе наиболее концентрированную многоэтажную часть застройки и в сельской местности.

Низкотемпературные процессы являются самыми энергоемкими в домашнем хозяйстве и сфере обслуживания. Развитие систем электротеплоснабжения вместо централизованного теплоснабжения является неэффективным из-за значительного перерасхода топлива и капиталовложений, связанного с выработкой и распределением электрической энергии. Потребительские преимущества электроэнергии по сравнению с централизованно подаваемым теплом, в отличие от электрификации приготовления пищи, относительно невелики. Поэтому широкое применение электроэнергии для низкотемпературных процессов в условиях СССР может оказаться экономичным лишь при значительном росте эффективности производства электроэнергии по сравнению с современным уровнем.

Соглашаясь с этой бесспорной точкой зрения, специалисты в области энергоснабжения быта тем не менее расходятся в оценке перспектив электрификации низкотемпературных процессов в жилье на ближайшую перспективу. Одна группа специалистов (Б. Л. Айзенберг, Е. Я. Соколов и другие), работающих преимущественно в области централизованного теплоснабжения, считает, что электрификация низкотемпературных процессов в СССР неэффективна и может быть частным исключением, например для отдаленных районов с особенно тяжелыми условиями топливоснабжения или южных районов страны на базе тепловых насосов [см., например, Л. 26, с. 42]. Вторая группа (Н. В. Меладзе, В. Г. Попов, Ю. Н. Савенко, Н. Т. Хаблак, Р. А. Хачатурян, Е. О. Штейнгауз, Э. И. Эргардт и другие [Л. 85, 93, 127]) считает, что область потребления электроэнергии в условиях СССР может быть расширена также за счет применения аккумуляционных систем электротеплоснабжения и использования электроэнергии в системах смешанного теплоснабжения, где она будет снимать переменную часть отопительной нагрузки.

Применение электроэнергии для теплоснабжения быта во многих развитых капиталистических странах достигло заметных размеров, продолжает развиваться и по ряду зарубежных прогнозов может стать одним из существенных направлений теплоснабжения в перспективе. В частности, это связывают с удорожанием качественного топлива и повышением эффективности электрификации на базе крупных электростанций на угле и АЭС. Материалы по развитию электротеплоснабжения позволяют составить общую картину достигнутого уровня электрификации горячего водоснабжения и отопления за рубежом (табл. 11-15).

Особенно характерно использование электроэнергии для низкотемпературных процессов во вновь строящихся домах. Так, в Англии 7 из 10 водонагревателей, установленных в 1969—1970 гг., были электрическими, а больше половины вновь строящихся многоэтажных домов оборудуются электроотоплением. Во Франции оборудуются электроотоплением примерно 10% всех вновь строящихся квартир, в Бельгии 15%, в США — не менее 35%.

В числе других часто указывают на следующие две причины, определившие развитие электроснабжения в развитых капиталистических странах: коттеджный характер застройки городов капиталистических стран сделал нецелесообразным применение централизованных систем теплоснабжения на топливе¹. При сравнении

¹ В 1968 г. в общем жилом фонде США одноквартирные дома составляли в Сан-Франциско 48%, Лос-Анжелесе 64%, Чикаго 25%, Бостоне 30%. — «Строительство и архитектура Узбекистана», 1969, № 4.

Электрификация отопления и горячего водоснабжения за рубежом*

Страны	Число электродонагревателей на 100 семей (1969 г.)	Население, пользующееся электроотоплением (1971 г.), %
Англия	40	30
ФРГ	45**	5
Италия	13	Нет данных
Франция	46	Нет данных
Бельгия	12	Нет данных
США	26	6
Канада	Нет данных	3,5

* Помимо материалов автора использованы материалы В. В. Трутневиса, Д. А. Гольдман, Л. В. Бончковской.

** 1971 г.

с индивидуальными системами теплоснабжения на газе, нефтяном и особенно твердом топливе, схемы электротеплоснабжения в этих условиях оказываются более предпочтительными; соотношение цен на электроэнергию и топливо в капиталистических странах, в связи с высокой стоимостью газа значительно благоприятнее для электроотопления, чем в СССР. В США средняя цена на электроэнергию для быта с начала 50-х годов весьма существенно снижалась и к 60-м годам составляла 2,4 цента/(кВт·ч). Впоследствии она снизилась еще больше и начала несколько подниматься только в последние годы, — в преддверии энергетического кризиса, обострившегося в 1973—1975 гг. В 1969 г. она составляла 2,1; 1971 г. — 2,2; 1972 г. — 2,3 цента/(кВт·ч). Цена на газ все время росла, особенно увеличиваясь в последние годы. В 1969 г. она составляла в среднем для бытовых потребителей 3,2 цента/м³, а в 1972 г. — 3,8 цента/м³.

Однако имеются данные и о том, что в капиталистических странах получило значительное распространение централизованное теплоснабжение по преимуществу от котельных в связи с более коротким отопительным периодом¹. Так, в ФРГ централизованными системами теплоснабжения обслуживается в настоящее время 8 млн. из 20 млн. квартир, или 40%*. В США еще в 1956 г. число домашних хозяйств, отапливаемых с помощью газа, составляло 16,6 млн., в том числе 8,6 млн. или немного более половины, от систем центрального отопления. По прогнозу С. Шура и Б. Нетчерта [Л. 120, с. 375—376] в 1975 г. ожидалось следующее число домашних хозяйств, пользующихся центральным отоплением:

¹ В последние 10 лет под влиянием успешного опыта СССР в ряде стран (Швеции, ФРГ, Италии) усилился интерес к теплофикации и вошли в строй весьма крупные городские ТЭЦ.

* «Elek Nachr.», 1974, 26, № 2, с. 39—46.

Вид топлива	Всего, тыс. еди- ниц	В том числе отопление			
		центральное		индивидуальное	
		тыс. еди- ниц	%	тыс. еди- ниц	%
Сжиженные нефтяные газы	5000	1875	37	3125	63
Природный газ	37 268	28 202	75	9066	25
Нефть	17 522	14 050	80	3472	20
Уголь	4000	Нет данных		Нет данных	
Итого (без угля)	59 790	43 127	72	15 663	28

Даже если эти цифры и не были достигнуты, они характерны для складывающихся в США тенденций в области централизации теплоснабжения. Однако по единичной мощности и, следовательно, эффективности системы централизованного теплоснабжения за рубежом уступают системам, получившим развитие в СССР.

В числе других причин, обусловивших развитие электротеплоснабжения за рубежом, по нашему мнению, необходимо отметить следующие. Значительно более мягкий климат США и ряда стран Западной Европы сглаживает разницу в расходах топлива и затратах других ресурсов между электротоплением и «топливными» системами теплоснабжения. В США, где летнее кондиционирование воздуха по климатическим условиям получило широкое распространение, сформировался особый тип годового графика электрической нагрузки с летним пиком. Поэтому электротопление в США независимо от используемого оборудования (тепловые насосы, панельное отопление и т. п.) работает зимой по свободному графику. В странах Западной Европы (Англия, ФРГ), где преобладают аккумуляционные системы электротеплоснабжения, большую роль играют особенности структуры энергетического хозяйства. Число часов максимума нагрузки в этих странах, характеризующихся сравнительно стабильной структурой промышленного потребления электроэнергии, меняется медленно; при этом отношение минимальной нагрузки к максимальной уменьшается. Так, для зимнего рабочего дня в 1970 г. оно имело следующие значения (в скобках 1962 г.): Бельгия 0,45 (0,5); Франция 0,48 (0,52); Швеция 0,6 (0,65). Для Англии и ФРГ это соотношение оставалось хотя и стабильным, возможно, за счет уже появившихся аккумуляционных систем, но было еще ниже — 0,35 и 0,42 соответственно. Стремление улучшить режим работы крупных тепловых электростанций заставило в этих странах пойти на установку для ночных часов льготного тарифа на электроэнергию. В Англии он равен половине, а во Франции — в несколько раз меньше дневного. Наконец, повышающийся спрос на электроэнергетические системы объясняется растущей популярностью установок электротопления, обеспечивающих потребителю больший комфорт, высокую степень чистоты, возможность регулирования теплового режима в каждом отдельном помещении.

-В последние годы ряд проектных и научно-исследовательских организаций, в том числе институт «Энергосетьпроект», Академия коммунального хозяйства имени К. Д. Памфилова, Энергетический институт имени Г. М. Кржижановского и другие провели значительную работу по исследованию предпосылок и экономических показателей использования электроэнергии для теплоснабжения быта в СССР. В результате этих исследований были выявлены отдельные перспективные области применения электроэнергии: использование электроаккумуляционных систем теплоснабжения в районах малоэтажной застройки городов и особенно сельской местности, т. е. вне сферы централизованного теплоснабжения; электротеплоснабжение на базе тепловых насосов преимущественно в южных районах страны, где по климатическим условиям требуется летнее кондиционирование воздуха; электротеплоснабжение в труднодоступных районах, в том числе в зоне вечной мерзлоты. Кроме того, электроэнергия может использоваться в качестве вспомогательного источника тепла; в этом случае могут быть значительно улучшены энергетические и экономические показатели «базовых», традиционных систем центрального отопления¹. Необходимо также учитывать стремление населения, не обеспеченного современными системами теплоснабжения, создать комфорт за счет использования электроэнергии даже по действующим тарифам. Оно получило отражение в растущем объеме продажи электрических водонагревателей и вспомогательных отопительных электроприборов. Общий парк этого оборудования может быть оценен примерно в 10 млн. кВт, а потребление электроэнергии на низкотемпературные процессы бытового сектора в 1975 г. — около 4,0 млрд. кВт·ч (в 1970 г. 2 млрд. кВт·ч) [Л. 124].

Около 20% потребления теплоэнергии в городах и 80% в сельской местности по условиям плотности и концентрации застройки не может быть и в перспективе охвачено централизованными системами теплоснабжения. Для этих потребителей необходимо создание современных индивидуальных или групповых систем тепло-

¹ Вместе с тем проведенные исследования показали технико-экономическую необоснованность применения в ближайшем будущем прямых систем электротеплоснабжения, когда они попадают в максимум нагрузки энергосистем.

снабжения. Определенное место здесь могут занять электрические системы с аккумуляцией тепла, использующие для зарядки свободные в ночные часы мощности тепловых электростанций во всех объединенных энергосистемах СССР, кроме ОЭС Сибири. Покрытие неравномерной части графика электрической нагрузки является сложной технической и экономической задачей. В перспективе она еще более обострится из-за дальнейшего разуплотнения графика электрической нагрузки¹, истощения экономичных гидроэнергоресурсов, применения в теплоэнергетике крупных блоков на закритических параметрах пара и увеличения доли АЭС, для которых необходим равномерный режим работы.

Возможная выработка электроэнергии в провалах графика нагрузки энергосистем европейской части СССР уже сейчас достаточна для того, чтобы обеспечить аккумуляционными системами электротеплоснабжения около 3 млн. человек, в перспективе эти возможности еще более возрастут. Проведенные в институте «Энергосетьпроект» исследования показали, что приведенные затраты на дополнительно получаемую электроэнергию могут оцениваться только по топливной составляющей. При выработке электроэнергии по свободному графику расход топлива составляет в условном топливе 0,31—0,33 кг/(кВт·ч), что соответствует к. п. д. 0,37—0,40. Вырабатываемая ночью электроэнергия за счет догрузки эффективных базисных агрегатов требует дополнительного расхода топлива (по сравнению с расходом при работе этих агрегатов в переменном режиме) только 0,27—0,28 кг/(кВт·ч), что условно эквивалентно уже к. п. д. 0,44—0,46. Кроме того, при выравнивании графиков нагрузки в энергосистемах с дефицитом пиковых мощностей имеется возможность перевести все ТЭЦ на экономичную работу (по тепловому графику) и отказаться от ночного останова крупных базисных агрегатов ГРЭС. Последнее экономит не менее 50—70 т условного топлива на каждый останов, а догрузка ТЭЦ позволяет вырабатывать электроэнергию с дополнительным расходом топлива 0,17—0,18 кг/(кВт·ч). В этих условиях часть внепиковой энергии может быть

¹ По нашей оценке, отношение минимальной и максимальной нагрузок в зимние сутки по основным ОЭС европейской части страны составит к концу XX в. около 50%.

получена при ещё меньших дополнительных расходах топлива — примерно $0,2\text{--}0,21 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$, что условно эквивалентно к. п. д. 0,6. Стоимость внепиковой электроэнергии меняется в зависимости от степени заполнения провалов графика нагрузки. Она равна $0,4\text{--}0,6 \text{ коп}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$, т. е. в $2\text{--}2,5$ раза ниже приведенных затрат на электроэнергию, производимую по свободному графику, и в $1,5\text{--}2$ раза ниже значений, которые обычно [Л. 92] рекомендуются для расчетов.

Аккумуляционное электроотопление при рациональном размещении потребителей по отношению к питающим центрам может не требовать повышения пропускной способности сетей 110 кВ и выше, чтобы обеспечить потребителей дополнительной электроэнергией, получаемой за счет догрузки тепловых электростанций в ночные часы. Необходимо лишь усиление сети 35 кВ и ниже. Для горячего водоснабжения намечаемое увеличение квартирных вводов в домах с электроплитами может обеспечить установку электроводонагревателей без расширения электрических сетей.

Дискуссионным является исчисление расходов топлива при сравнении систем аккумуляционного электро-теплоснабжения с технически совершенными мелкими котельными и поквартирными генераторами. Здесь следует рассмотреть по крайней мере 3 вопроса: возможность регулирования расходов тепла в различных системах отопления; определение расходов горячей воды при различных системах горячего водоснабжения; к. п. д. мелких источников тепла на топливе.

Как свидетельствуют зарубежные данные и экспериментальные данные СССР, аккумуляционные системы электротеплоснабжения обеспечивают благодаря возможности автоматического регулирования температурного режима в каждом отапливаемом помещении экономию $25\text{--}35\%$ тепла по сравнению с его расчетными значениями. В традиционных системах отопления регулирование температурного режима может быть осуществлено принципиально двумя способами: с помощью так называемого пофасадного регулирования и с помощью индивидуальных терморегуляторов, устанавливаемых на радиаторах. Для малозатяжных домов, где целесообразно внедрение аккумуляционных систем электроснабжения, пофасадное регулирование дорого и не оправдывается экономически. Для индивидуальных

терморегуляторов имеющийся опыт показывает возможность достижения расходов тепла, близких к значениям для электротеплоснабжения. Однако эти регуляторы пока ненадежны и дороги.

В центральных нерегулируемых системах горячего водоснабжения расход горячей воды $t=65^{\circ}\text{C}$ доходит до 110—120 л/сутки на человека, что эквивалентно годовому душевому расходу 1,5—1,6 Гкал тепла. При использовании аккумуляционных поквартирных электроводонагревателей расходы горячей воды не превышают 60 л в сутки, о чем свидетельствуют многочисленные данные. Расходы электроэнергии на горячее водоснабжение за рубежом определяются не более чем 1000 кВт·ч/(чел·год); опыт экспериментальных квартир в СССР дал величину в 700—800 кВт·ч/чел.

Эффективность применения аккумуляционных систем электротеплоснабжения часто доказывается сравнением их с современными групповыми и индивидуальными системами на топливе, отличающимися весьма низкими эксплуатационными к. п. д. Из-за отсутствия автоматики, некондиционности топлива, недостаточно высокого уровня эксплуатации к. п. д. для котельных на газе мощностью 5—7 Гкал/ч равны 0,65—0,7, на угле 0,55—0,6. В сельской местности к. п. д. котельных достигает даже 0,4. Низкие к. п. д. индивидуальных систем теплоснабжения принимаются и за рубежом. Так, например, французские специалисты при сравнении систем электроотопления с мелкими котельными на газе считают, что последние могут обеспечить к. п. д. не выше 0,6 (с учетом потерь в тепловых сетях и расхода электроэнергии на собственные нужды котельных)¹. Компания «Оклахома» (США) исследовала более 300 односемейных домов и установила, что к. п. д. отопительной системы, работающей на газе при норме 70—75%, с учетом загрязнения горелок, камер, расхода тепла на подогрев воздуха в действительности составляет около 40%*. Необходимо, разумеется, учитывать, что эти цифры приводятся компаниями, заинтересованными в развитии электроотопления. Вместе с тем в расчетах нельзя ориентироваться на то, что к. п. д. мелких уста-

¹ Bilans en energie primaire du chauffage electrique integré. In Electricité de France. Direction generale edition technique et economique. 1973, Paris.

* «Electrical World», 1973, 179, № 9, p. 66.

Расходы тепла и топлива на отопление жилищ

Показатели	Отопление от мелких установок		Аккумуляционное электроотопление
	на угле	на газе	
К. п. д. производства тепла и электроэнергии, %	60	70	44—60
К. п. д. транспорта тепла, топлива и электроэнергии, %	90—97	90—97	90
Полезный расход тепла на квартиру, Гкал	14	14	14
Расход тепла на квартиру, Гкал, с учетом:			
потерь при отсутствии регулирования у тепловых потребителей установок	17,5	17,5	14
то же и потерь при преобразовании энергии	29,1	24,9	32,0—23,5
то же и потерь при транспорте топлива и энергии	32—30	27,5—26	35,5—26,0
Расход топлива в год, т условного топлива	4,7—4,1	4,05—3,7	5,1—3,7

новок могут быть приближены к показателям крупных районных котельных, как это часто рекомендуется.

С учетом сделанных замечаний можно следующим образом оценить удельные расходы тепла и топлива в сравниваемых системах отопления (табл. 11-16).

В табл. 11-17 дано сравнение приведенных затрат в различные схемы теплоснабжения квартиры с площадью жилых комнат 40 м² для малоэтажной застройки в сельской местности. Схемы рассматривались при условии: осуществления индивидуального регулирования подачи тепла от традиционных источников (при его отсутствии затраты в традиционные варианты возрастают на 10—15%); стоимости внепиковой электроэнергии 0,6 коп/(кВт·ч) [при стоимости электроэнергии 0,4 коп/(кВт·ч) «электрические» варианты становятся более дешевыми примерно на 8%]; отсутствии затрат в сети 110 кВ (в противном случае затраты в электрические варианты возрастают на 20—30%); замыкающих затратах на мазут по [Л. 92] (при удорожании этих затрат в 1,5 раза схемы с котельными на мазуте удорожаются на 7—10%).

Таблица 11-17

**Приведенные затраты в схемы энергоснабжения
(для новой сельской застройки)**

Тип схемы	Традиционные								Электрические	
Источник тепло-снабжения	котельные						квартирные генераторы		отопление — греющий кабель и доводчик; горячее водоснабжение — КЭВН ¹	отопление — аккумуляционная электросеть; горячее водоснабжение — КЭВН ¹
	0,5		1—2		3,5—5		уголь	дистиллят		
Мощность котельной, Гкал/ч, и вид топлива	уголь	мазут	уголь	мазут	уголь	мазут			уголь	дистиллят
	Тип застройки:									
индивидуальная										
блокированная										
секционная										
рублей на 1 квартиру										
490 390 380 450										
480 420 380 460										
Тип застройки:										
% к минимальному варианту										
130 102 100 118										
125 110 100 120										
205 170 165 130 150 117 100 140										

¹ КЭВН — комбинированный квартирный электроводонагреватель с двумя нагревающими элементами, один из них работает в свободном режиме и служит для быстрого нагрева воды.

Эффективность применения для теплоснабжения тепловых насосов зависит в основном от трех факторов: необходимости легкого кондиционирования воздуха в помещении и соотношения его мощностей для кондиционирования и отопления; коэффициента преобразования теплового насоса, т. е. от количества тепла (холода), получаемого на 1 затраченный киловатт-час; стоимости установок и электроэнергии.

Тепловой насос — это установка, являющаяся обращенным тепловым двигателем. Процессы, происходящие в тепловом насосе, идентичны процессам в холодильной машине, но с той разницей, что тепловой насос может работать в обратном режиме, — для получения тепла. Экономия энергии в компрессионном тепловом насосе осуществляется за счет использования скрытой теплоты парообразования рабочего тела — низкокипящей жидкости (например, фреона), нагреваемого от вторичного источника тепла, воздуха, воды и т. п. Принципиальная схема действия компрессионного теплового насоса, работающего на отопление, показана на рис. 11-2. При работе на охлаждение направление движения рабочего

тела меняется, испаритель выполняет роль конденсатора. В полупроводниковых тепловых насосах передача тепла от первичного источника осуществляется за счет перетока электронов от холодного спая к горячему.

Для жилого сектора применение тепловых насосов будет оправдано прежде всего в южных районах страны, для населения которых необходима организация летнего кондиционирования воздуха. К числу этих рай-

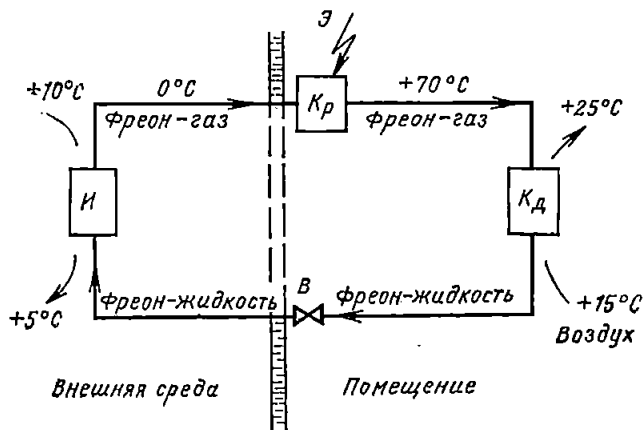


Рис. 11-2. Принципиальная схема компрессионного теплового насоса. Кр — компрессор; Кд — конденсатор; И — испаритель; В — вентиль; Э — электроэнергия.

онов принадлежит прежде всего ряд территорий Средней Азии и Закавказья; в меньшей степени кондиционирование воздуха в жилищах требуется для городов южного Казахстана, Нижнего Поволжья, Северного Кавказа, Южной Украины и Молдавии.

Коэффициенты преобразования компрессионных тепловых насосов, работающих по системе воздух — воздух или воздух — вода, выпуск которых освоен в СССР, достигают в настоящее время в среднем за сезон 2—2,5. В перспективе можно рассчитывать на увеличение коэффициентов преобразования до 3—3,5. При этом для основной части отопительного сезона с относительно высокими для южных районов температурами наружного воздуха (до +5°C) коэффициент преобразования тепловых насосов будет равен 4, а в «пиковые» холодные периоды он будет снижаться до 1,5—2. Такие коэффициенты преобразования определяют высокую топлив-

ную эффективность теплового насоса. Экономия топлива достигает 30—60% по сравнению с котельными на газе производительностью 6—20 Гкал/ч. Одновременно тепловые насосы предъявляют пониженные требования к электроэнергетической базе и не требуют большого увеличения пропускной способности электрических сетей.

Стоимость современного комплектного кондиционера «Азербайджан-2» составляла в 1970 г. 355 руб., или 170 руб. на 1000 ккал/ч холодопроизводительности. Однако этот кондиционер выпускался нашей промышленностью сравнительно малыми сериями. В дальнейших расчетах стоимость комнатного теплового насоса нами принята в диапазоне от 50 до 100 руб. за 1000 ккал/ч теплопроизводительности. Однако и при таких стоимостях нецелесообразно увеличивать мощность тепловых насосов для работы в пиковые периоды с низкими коэффициентами преобразования. По-видимому, выгоднее пиковую часть тепловой нагрузки, примерно 50%, и соответственно около 10% потребляемой годовой энергии покрывать за счет дополнительных недорогих прямых электронагревателей, которые могут работать в свободном либо аккумуляционном режиме.

Особенностью работы тепловых насосов является небольшое число часов использования электрической мощности в режиме отопления, что определяется не только коротким отопительным периодом в южных районах, но и пониженным коэффициентом преобразования в дни пиковой нагрузки. В связи с этим, по нашим оценкам, стоимость электроэнергии, которую используют тепловые насосы и пиковые доводчики, весьма высока и достигает по приведенным затратам не менее 2 коп/(кВт·ч) франко-понижительная подстанция сети высшего напряжения в данном энергообъединении. С учетом этих замечаний нами рассчитаны показатели эффективности применения тепловых насосов по сравнению с котельными на газообразном топливе для типовой квартиры площадью жилых комнат 40 м² в районе Ташкента¹ (табл. III-8).

¹ Расчет сделан для отопительной нагрузки. Для горячего водоснабжения требуется или создание аккумулялирующей емкости или очень большая мощность теплового насоса с тем, чтобы, например, быстро наполнить ванну. В связи с этим можно рекомендовать для горячего водоснабжения устройство центральных тепловых насосов (на дом или группу одноэтажных домов).

Эффективность применения тепловых насосов

Показатели	Тепловой насос	Котельные мощности, Гкал/ч	
		6	25
Потребность:			
тепла (с учетом потерь в сетях), Гкал	2,6	4,0	4,0
тепловой мощности, тыс. ккал/ч	4,05	4,9	4,9
электрической мощности, Вт	2940		
в том числе: тепловой насос	590		
доводчик	2350		
электроэнергии, кВт·ч	980		
в том числе: тепловой насос	680		
доводчик	300		
в топливе, т условного топлива	0,4	0,8	0,67
Приведенные затраты, руб.:			
топливо	—	14*	11,5*
		21	17,5
электроэнергия	22,5		
распределительный транспорт топлива	—	5	6
котельные	—	21	11,5
тепловые сети	—	6	10
Внешние электрические сети	17,2	—	—
Домовые электрические сети	7,9	—	—
Оборудование:			
тепловой насос — кондиционер	18,2—54,6	—	—
доводчик	5,6	—	—
внутреннее оборудование традиционной системы	—	25	25
Итого	71,4—119	71*	64*
		78	70
Стоимость кондиционера	18,2—54,6	—	—
Всего за вычетом стоимости кондиционера	59,8	71*	64*
		78	70

* Числитель — по [Л. 92], знаменатель при условии роста замыкающих затрат на качественное топливо в 1,5 раза.

Если тепловой насос покрывает только 50% отопительной нагрузки, то для условий Ташкента его мощность оказывается меньше мощности кондиционера. Поэтому в таблице стоимость теплового насоса принята равной стоимости кондиционера соответствующей мощности.

Для более широкого диапазона условий показатели теплонасосного отопления в сравнении с отоплением от котельных приведены на рис. 11-3. Анализ графика позволяет отметить следующее. Если тепловой насос предназначен прежде всего для кондиционирования возду-

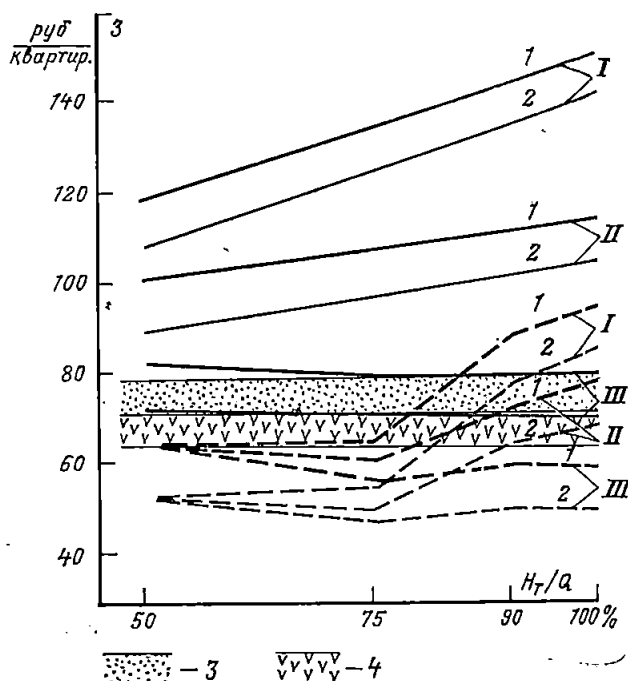


Рис. 11-3. Экономическая эффективность применения тепловых насосов (зависимость приведенных затрат Z на отопление от доли тепловых насосов в покрытии тепловой нагрузки H_T/Q).

График построен для условий г. Ташкента при среднегодовом коэффициенте преобразования тепловых насосов 4. ——— полные приведенные затраты в вариантах с тепловыми насосами; - - - - - приведенные затраты за вычетом стоимости кондиционера: I, II, III — при стоимости теплового насоса на 1000 ккал/ч соответственно 150, 100 и 50 руб.; 1, 2 — при стоимости электроэнергии соответственно 3 и 2 коп/(кВт·ч); 3, 4 — производительность котельных соответственно 6—10 и 20 Гкал/ч.

ха, и стоимость его учитывается только в той части, в какой его мощность по отоплению больше, чем по кондиционированию воздуха, то теплонасосное отопление и дополнительный пиковый доводчик оказываются в большинстве случаев эффективными по сравнению с котельными. При этом целесообразно увеличивать долю

теплового насоса в покрытии максимума отопительной нагрузки $Q_{\text{макс}}$ до тех пор, пока мощность теплового насоса, потребная для отопления, не сравняется с мощностью кондиционера (при заданных выше условиях — до 75% от $Q_{\text{макс}}$). Если же тепловой насос устанавливается и используется только для отопления, то по сравнению с мелкими котельными его применение эффективно при коэффициенте преобразования 4, только когда затраты на электроэнергию не превышают 2 коп/(кВт·ч), а удельная стоимость теплового насоса составляет 50 руб. и менее¹. Поэтому повышение коэффициента преобразования при снижении удельной стоимости теплового насоса до 50—60 руб. за 1000 ккал/ч производительности может стать основой его применения для отопления жилищ в более северных районах страны, прежде всего для индивидуальной застройки. Это станет возможным, если будут освоены тепловые насосы, способные обеспечить повышение коэффициентов преобразования энергии до 5—7 и выше² в зависимости от режима их работы³.

При оценке эффективности тепловых насосов важно подчеркнуть их значение для охраны окружающей среды; они не только экономят топливо, но и могут снизить тепловое загрязнение воздушного бассейна городов в зимнее время.

Проведенные исследования показывают социальные и экономические преимущества использования электроэнергии в районах нового освоения (Якутская АССР, Магаданская область, северные районы Красноярского края, горные районы Тувинской автономной области и т. п.), где стоимость топлива достигает 70—100 руб/т условного топлива и есть возможность организации электроснабжения от крупных ГЭС или атомных элек-

¹ Здесь также может оказаться эффективным повышение доли теплового насоса в покрытии тепловой нагрузки, так как абсолютное удорожание его в связи с увеличением мощности окупается уменьшением требований к расходам электроэнергии, пропускной способности сетей и абсолютным сокращением затрат на производство и распределение электроэнергии.

² Повышение коэффициента преобразования тепловых насосов на 1 эквивалентно увеличению стоимости топлива в альтернативном варианте на 5—7 руб.

³ При низкой стоимости тепловых насосов, особенно полупроводниковых, способных к кратковременным перегрузкам по производительности, и дешевой электроэнергии, по-видимому, будет целесообразным увеличивать их участие в покрытии тепловой нагрузки.

тростанций. По данным В. М. Михайловой, приведенные затраты в схемы энергоснабжения при использовании различных энергоносителей составляют (руб/квартира · год):

	Якутская АССР	Север Крас- ноярского края	Тувинская АО
Горячее водоснабжение и отопление на электроэнергию	290	320	300
То же от котельных:			
до 0,5 Гкал/ч	1600	790	480
5 Гкал/ч	1140	700	400
24 Гкал/ч	920	550	300

Для районов нового освоения необходимо учитывать также повышенные затраты в социальную инфраструктуру, что значительно увеличивает капиталовложения в неэлектрические схемы децентрализованного теплоснабжения.

Одним из факторов, снижающих комфортные параметры и эффективность централизованных систем теплоснабжения, является отсутствие индивидуального регулирования режимов потребления тепла. Отклонения по этим параметрам при отоплении от ТЭЦ достигают $+2 \div +4^{\circ}\text{C}$. При этом расход тепла, связанный с перетопами, увеличивается на 25—35%, и выше. Для ликвидации этих недостатков может оказаться целесообразным использование электрического вспомогательного отопления, снимающего пики тепловой нагрузки.

Вспомогательные приборы электроотопления конструктивно просты и достаточно дешевы. Их стоимость (без автоматики) может быть оценена в 10—15 руб/кВт. Следует учитывать, что эти приборы имеют малый коэффициент совмещения, составляющий по зарубежным данным не более 0,4—0,5, а по некоторым источникам даже 0,1—0,15. Кроме того такие «электропроводчики» могут работать и в аккумуляционном режиме. Потребители, использующие тонко регулируемые смешанные системы отопления, получают возможность обеспечивать в каждом помещении заданную температуру воздуха.

Наличие «электропроводчиков» значительно улучшает технические параметры и экономические показатели традиционных систем теплоснабжения, так как при смешанной системе увеличивается число часов работы дорогих систем центрального отопления с 2,5 до 4 тыс. ч в году и обеспечивается сокращение на 30—40% экс-

платационных расходов на получение тепловой энергии. Топливная эффективность смешанных систем отопления может быть проиллюстрирована следующими цифрами (Гкал на 100 Гкал расхода тепла):

	Традиционная система	Смешанная система
Расход тепла у потребителя	100	70*
Покрывается за счет:		
традиционной системы	100	56
электроприборов	—	14
Коэффициент полезного действия**:		
традиционных источников (крупная котельная)	87	90
электрических станций	—	35
Расход топлива:		
на традиционных источниках	115	62
на электростанциях	—	40
Всего	115	102

* Снижение на 30% за счет регулирования режима отдачи тепла.

** К. п. д. приняты с учетом режима работы генерирующих источников.

Смешанная система отопления была проверена в экспериментальных квартирах г. Владивостока Г. Р. Грейнером и В. Ф. Слоневским [Л. 28] и показала хорошие результаты.

В целом, по нашей оценке, уже при современных соотношениях в стоимости энергоносителей экономически эффективно довести уровень электрификации низкотемпературных процессов жилищного сектора до 10—15%, в том числе 3% за счет аккумуляционных систем электротеплоснабжения, 4—6%, за счет отопления и горячего водоснабжения тепловыми насосами, 0,5% — прямого и аккумуляционного электротеплоснабжения в удаленных районах и 2,5% — за счет смешанных систем теплоснабжения. При этом на низкотемпературные процессы могло бы расходоваться 15—20% электроэнергии, идущей на внутриквартирные нужды. Вспомогательное электрическое отопление дополняет теплофикацию, существенно улучшая ее экономические показатели, а применение аккумуляционных систем и тепловых насосов будет иметь место для тех зон и районов, где развитие теплофикации заведомо неэффективно. Таким образом, электрификация низкотемпературных процессов не противоречит развитию теплофикации как главному направлению теплоснабжения в СССР, а на современном этапе позволяет улучшить ее показатели.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АНКЕТА № 1

ПРИМЕР АНКЕТЫ ЭКСПЕРТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В КОЛЛЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ

Вопросы для коллективной оценки

Вопрос 1. Просим Вас ответить, какое количество электроэнергии будет потребляться в быту в сфере обслуживания (без городского электрифицированного транспорта) суммарно: в городах и сельской местности.

Годы	Количество потребляемой электроэнергии, млрд. кВт·ч			Доля быта и сферы обслуживания в общей выработке электроэнергии в СССР		
	минимальная оценка	средняя оценка	максимальная оценка	минимальная оценка	средняя оценка	максимальная оценка
1980 г.						
1990 г.						
2000 г.						

Вопрос 2. Просим Вас ответить, какой удельный вес в общем потреблении электроэнергии на нужды быта и сферы обслуживания займет потребление электроэнергии на нужды низкотемпературных процессов: легкого кондиционирования воздуха, электроотопления и вентиляции, подогрева воды, %.

Годы	Все потребление электроэнергии в быту и сфере обслуживания	В том числе низкотемпературные процессы	Из них				Примечание
			кондиционеры и тепловые насосы	аккумуляционные печи, кабели, плиты	электро-водонагреватели	электро-котлы	
1	2	3	4	5	6	7	8
1980 г.	100						
1990 г.	100						
2000 г.	100						

Примечание. Графа 3=Гр. 4+Гр. 5+Гр. 6+Гр. 7+Гр. 8. Гр. 3<Гр. 2.

Вопрос 3. Если Вы считаете, что в перспективе произойдут существенные изменения в электрификации низкотемпературных процессов и потребление электроэнергии в этой области увеличится, то к какому периоду Вы отнесли бы этот сдвиг (соответствующие годы подчеркнуть): 1976—1980 гг., 1981—1985 гг., 1986—1990 гг., 1991—1995 гг., 1996—2000 гг., 2001—2010 гг., позже 2010 г.

Вопрос 4. Какая, по Вашему мнению, доля населения СССР будет пользоваться в 2000 г. электрическим отоплением (подчеркните в каждой строке по 1 цифре, отражающей Ваше мнение).

	Оценка	Процент от всего населения СССР														
		1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
Полностью будут отапливаться электричеством	Максимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Средняя	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Минимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Максимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
Кроме того, за счет мелких переносных приборов как дополнительных источников тепла	Средняя	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Максимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Минимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более
	Максимальная	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	70 и более

Вопрос 5. По 10-балльной шкале оцените важность факторов, которые могут играть решающую роль в увеличении уровня электрификации низкотемпературных процессов (подчеркните соответствующий балл в каждой строке).

Факторы	Оценка важности в баллах									
Общий рост уровня жизни и увеличение требований к комфорту	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Снижение приведенных затрат на электроэнергию	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Снижение тарифов на ночную электроэнергию	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Рост производства электроотопительных приборов и оборудования	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Необходимость заполнения провалов графика электрической нагрузки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Рост жилой обеспеченности	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10
Другие: написать, какие, по мнению эксперта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 10

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Классификация технологий народного хозяйства

Индекс	Виды технологий	Основные энергоносители*			
		Топливо	Пар или горячая вода	Электрoэнергия	
				традиционные методы	новые физико-химические методы**
1	Формообразование				
1-1	<i>Разделение</i>				
1-1-2	Токарная, фрезерная, строгальная обработка материалов			+	+
1-1-3	Дробление			+	
1-1-4	Сортировка				
1-1-4-1	Сортировка	+		+	
1-1-4-2	Обмолот	+		+	+
1-1-4-3	Обогащение		+	+	
1-1-5	Рыхление				
1-1-5-1	Рыхление материалов	+		+	+
1-1-5-2	Рыхление почв и грунта	+		+	+

Индекс	Виды технологий	Основные энергоносители*			
		Топливо	Пар или горячая вода	Электроэнергия	
				традиционные методы	новые физико-химические методы**
1-2	<i>Давление и протягивание</i>				
1-2-1	Ковка		+	+	
1-2-2	Штамповка		+	+	
1-2-3	Прессование и высадка		+	+	+
1-2-4	Прокатка			+	
1-2-5	Волочение			+	
1-2-6	Прядение и крутка			+	+
1-3	<i>Соединение</i>				
1-3-1	Болтовое и винтовое			+	
1-3-4	Клепка			+	
1-3-5	Ткачество			+	+
1-4	<i>Покрывтия</i>			+	+
1-5	<i>Шлифовка</i>			+	+
1-6	<i>Перемещение людей, орудий и предметов труда</i>				
1-6-1	Железные дороги	+		+	
1-6-2	Водный транспорт	+		+	
1-6-3	Воздушный транспорт	+			
1-6-4	Автотранспорт	+		+	+
1-6-5	Лифты			+	
1-6-6	Эскалаторы и транспортеры			+	
1-6-7	Тракторная тяга	+		+	+
1-6-8	Краны	+		+	
1-6-9	Компрессоры и насосы	+	+	+	
2	<i>Нагрев</i>				
2-1	<i>Для механической обработки</i>				
2-1-1	Под ковку, штамповку, прессовку и т. д.	+		+	
2-1-2	Для проката металлов и пластмасс	+	+	+	
2-1-3	Литейных форм	+		+	
2-1-4	Прядильных и других растений	+	+	+	
2-1-5	Для соединения	+	+	+	
2-1-5-1	Сварка	+		+	
2-1-5-2	Для пайки	+		+	
2-1-6	Спекание	+		+	
2-1-7	Агломерация	+		+	

Индекс	Виды технологий	Основные энергоносители*			
		Топливо	Пар или горячая вода	Электрос энергия	
				традиционные методы	новые физико-химические методы**
2-2	<i>Для термической и химико-термической обработки металлов и материалов</i>				
2-2-1	Нагрев металлов и материалов для термообработки	+	+	+	+
2-2-2	Варка		+	+	
2-2-3	Пропарка		+		
2-2-4	Вулканизация		+		
2-2-5	Нагрев растворов для выщелачивания, мерсеризации	+	+	+	
2-2-6	Сушка	+	+	+	+
2-3	<i>Нагрев нефтяных пластов и нефтепроводов</i>	+	+	+	
2-4	<i>Для разделения</i>				
2-4-1	Абсорбции, адсорбции	+	+	+	
2-4-2	Перегонки	+	+	+	
2-4-3	Выпарки и обезвоживания	+	+	+	
2-5	<i>Пастеризация продуктов</i>	+	+	+	+
2-6	<i>Нагрев воды для производственных и гигиенических нужд</i>	+	+	+	
3	Химическая перестройка предметов труда.				
3-1	<i>Предварительная обработка</i>				
3-1-1	Обжиг	+		+	
3-1-1-1	Обжиг сыпучих материалов	+		+	
3-1-2	Коксование	+			
3-1-3	Варка продуктов, печение и копчение	+	+	+	+
3-2	<i>Восстановление</i>				
3-2-1	Плавка и литье	+		+	+
3-2-2	Рафинирование и переплав	+		+	+
3-3	<i>Преобразование структуры химических материалов</i>				
3-3-1	Пиролиз	+	+		
3-3-2	Крекинги и риформинги	+	+		+

Индекс	Виды технологий	Основные энергоносители*			
		Топливо	Пар или горячая вода	Электрoэнергия	
				традиционные методы	новые физико-химические методы**
4	Создание сред и условий для производства				
4-1	Получение вторичных энергоносителей				
4-1-1	Сжатый воздух		+	+	
4-1-2	Холод для технологии		+	+	
4-2	Освещение и облучение				
4-2-1	Освещение			+	
4-2-2	Светозвуковые приборы			+	+
4-2-3	Облучение				
4-2-3-1	Сельскохозяйственных животных и птицы			+	+
4-2-3-2	Растений			+	+
4-3	Климатизация				
4-3-1	Отопление и вентиляция	+	+	+	+
4-3-2	Летнее кондиционирование		+	+	+
4-3-1-1	Промышленных цехов		+	+	+
4-3-1-2	Ферм и птицеводческих комплексов	+	+	+	+
4-3-1-3	Теплиц и парников	+	+	+	+
4-3-1-4	Гражданских зданий	+	+	+	+
4-4	Получение вакуума		+	+	

* Не указаны побочные энергоносители (сжатый воздух, динил, холод на технологические цели и др.), так как они могут быть получены на базе основных энергоносителей.

** Включается большое число процессов и методов, основанных на электрофизических и электрохимических реакциях.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Перечень показателей, необходимых для сопоставления взаимозаменяемых технологий

1. Годовая производительность единицы или комплекса оборудования (т/год)
2. Основные параметры оборудования (емкость, мощность и т. д.) (м³, кВт)
3. Расход и стоимость сырья и основных материалов на единицу продукции (руб.)
4. Возвратные отходы (стоимость) на единицу продукции (руб.)
5. Трудозатраты на единицу продукции (чел. ч)
6. Расход энергоресурсов на единицу продукции:
 - электроэнергия (кВт. ч)
 - топливо (кг у. т.)
 - пар (Гкал)
 - горячая вода (Гкал)
 - сжатый воздух (м³)
 - кислород (м³)
 - холод (Гкал)

Продолжение прилож. 3

7. Расход и стоимость дорогостоящих эксплуатационно-технологических материалов на единицу продукции (кг, руб.)
8. Расход и стоимость инструмента, технологической оснастки и тары (только по дорогостоящим элементам) на единицу продукции (кг, руб.)
9. Потери от брака на единицу продукции (не учтенные в пп. 3, 4, 6—8) (руб.)
10. Балансовая стоимость на единицу продукции (руб.):
технологического оборудования
силового и обслуживающего оборудования
сооружений зданий
других неучтенных элементов
основных средств (с выделением дорогостоящих)
11. Средняя стоимость всех видов ремонта (% к балансовой стоимости основных средств)
12. Затраты на ремонт на единицу продукции (руб.)
13. Амортизация (% к балансовой стоимости)
14. Затраты на амортизацию на единицу продукции (руб.)
15. Средняя зарплата (руб./чел.ч)
16. Зарплата (всего) (гр. 5×гр. 15) на единицу продукции (руб.)
17. Итого стоимость обработки (по приведенным затратам) (руб.)
(гр. 3—гр. 4+гр. 7+гр. 8+гр. 9+гр. 12+гр. 14+гр. 16+0,12×гр. 10) (руб.)
18. Стоимость энергоресурсов по замыкающим затратам (на единицу продукции) (руб.):
электроэнергия
топливо
пар
горячая вода
сжатый воздух
кислород
холод
19. Всего затраты по вариантам (руб.) (гр. 17+гр. 18)

Примечания: 1. При сравнении технологий необходимо обеспечить их сопоставимость по качеству получаемой продукции (путем введения соответствующих коэффициентов).

2. Следует обеспечить сопоставимость условий труда при различных технологиях (установка дополнительной вентиляции и другие мероприятия в вариантах с худшими условиями труда). Желательно стоимость этих мероприятий показать отдельно.

3. Если показатели по энергоносителям существенно меняются по районам страны, то сравнение вариантов следует проводить также по отдельным районам.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Использование топливно-энергетических ресурсов

	До 1917 г.	1930 г.	1950 г.	1950 г.	1965 г.	1971 г.
1. Электроэнергия						
К. Полезная энергия, млн. Гкал	0,26	2,25	24,7	114	240,2	402,8
В том числе:						
освещение, млн. Гкал	0,01	0,05	0,5	2,0	3,2	3,9
к. п. д. потребительских аппаратов, %	1	1	2	4	5,5	5,8
силовые процессы, млн. Гкал	0,25	1,9	20	90	186	295
к. п. д. потребительских аппаратов, %	35	41	50	60	67	72
высокотемпературные процессы и др., млн. Гкал	—	0,3	4,2	20	45	88,9
к. п. д. потребительских аппаратов, %	—	45	50	60	67	69
средне- и низкотемпературные процессы, млн. Гкал	—	—	—	2	6	15
к. п. д. потребительских аппаратов*, %	—	—	—	100	100	100
Б. Подведенная энергия, млн. Гкал	1,68	10,6	73,4	236	405	628
В том числе:						
освещение	0,98	5,3	25	50	58	68
силовые процессы	0,7	4,64	40	151	274	415
высокотемпературные процессы и т. п.	—	0,66	8,4	33	67	130

	До 1917 г.	1930 г.	1950 г.	1960 г.	1965 г.	1971 г.
средне- и низкотемпературные процессы	—	—	—	2	6	15
Всего подведенная энергия, млрд. кВт·ч	1,97	12,3	85	275,4	470,1	730,5
Суммарный к. п. д. потребительских аппаратов, %	13	22	34	48	59	65
Потери в сетях, млн. Гкал	0,06	0,6	5,4	15,3	31,4	60
То же, %	2,3	5,7	7,4	6,5	7,4	8,6
Выработка электроэнергии:						
млн. Гкал	1,74	11,2	78,8	251,3	436,4	688
млрд. кВт·ч	2,04	13,0	91,2	293,2	506,7	800,4
К. п. д. преобразования, %	11	17	24,8	34	39	42
Расход топлива на электростанциях, млн. Гкал	16	67	319	745	1120	1655
Потери топлива при транспорте, млн. Гкал	0,5	2	6	15	20	35
То же, %	2	2	2	2	2	2
Общий расход топлива на получение электроэнергии:						
млн. Гкал	16,5	69	325	760	1140	1690
млн. т условного топлива	2,4	9,9	46,5	108,3	163	242
Общий к. п. д. энергоресурсов, %	1,6	3,2	7,6	15,0	21,0	23,8
II. Пар и горячая вода						
А. Полезная энергия, млн. Гкал	8	29	155	440	795	1210
В том числе:						
силовые процессы	0,80	1,5	5,0	7,5	7,5	8,8
к. п. д. потребительских аппаратов, %	8	9	9	10	10	11
средне- и низкотемпературные процессы	7,2	27,5	150,0	432,5	787,5	1201,2
к. п. д. потребительских аппаратов, %	53	78	87	90	90	91
Б. Подведенная энергия, млн. Гкал	20	52	228	555	960	1400
В том числе:						
силовые процессы	6,5	17	55	75	75	80
средне- и низкотемпературные процессы	13,5	35	173	480	885	1320
суммарный к. п. д. потребительских аппаратов, %	40	55	68	80	83	86
К. п. д. преобразования с учетом потерь в тепловых сетях, %	38	47	57	65	71	76
Расход топлива на ТЭЦ и котельных, млн. Гкал	52,5	112	400	845	1360	1840
Потери топлива при транспорте, млн. Гкал	1,5	3,0	12	25	40	60
Общий расход топлива на получение пара и горячей воды, млн. Гкал	54	115	412	870	1400	1900
То же, млн. т условного топлива	7,7	16,4	59	124	200	272
Общий к. п. д. энергоресурсов, %	14,8	25	37,5	50,5	57	63,7
III. Топливо прямого использования (не учтены потери при переработке)						
А. Полезная энергия, млн. Гкал	146,74	273,75	595,3			1496,2
В том числе:						
освещение	0,09	0,15	0,1			—
к. п. д. потребительских аппаратов, %	1	1,5	2			—
силовые процессы	2,45	10	56			409
к. п. д. потребительских аппаратов, %	2,6	5,3	14,2			24

Продолжение прилож. 4

	До 1917 г.	1930 г.	1950 г.	1960 г.	1965 г.	1971 г.
высокотемпературные и другие технологические процессы	14,7	27,5	135,8			592
к. п. д. потребительских аппаратов, %	14	16	22			33
средне- и низкотемпературные процессы	129,5	236,1	404,1			495,2
к. п. д. потребительских аппаратов, %	35	39	42			52
Б. Подведенная энергия, млн. Гкал	577	980	1984			4440
В том числе:						
освещение	9	10	5			—
силовые процессы	93	190	395			1675
высокотемпературные и другие технологические процессы	105	172	618			1815
средне- и низкотемпературные процессы	370	608	966			950
суммарный к. п. д. потребительских аппаратов, %	25,5	28	30			33,8
Потери топлива при транспорте, млн. Гкал	12,5	35	64			200
Общий расход топлива, млн. Гкал	589,5	1015	2050			4640
То же, млн. т условного топлива	84	145	293			663,5
Общий к. п. н. энергоресурсов, %	25	27	29			32
IV. В целом по народному хозяйству						
Суммарный к. п. д. потребительских аппаратов, %	25,7	29,2	34			48
В том числе:						
освещение	1,0	1,3	2,0			5,7
силовые процессы	3,5	6,3	16,5			33,0
высокотемпературные и другие процессы	14	16	22			35
средне- и низкотемпературные	36,5	41	48,5			75
Суммарный к. п. н. энергоресурсов, %	23,5	25,4	27,8			37,6

* Преимущественно мелкие отопительные приборы и установки, в которых вся потребляемая электроэнергия переходит в тепло.

Примечания: 1. Учен расход топлива на „нетопливные нужды“.

2. Полезный расход тепла, получаемый в мелких топливных установках, учтен в разделе „топливо прямого использования“. Там же учтены потери при переработке топлива.

3. Суммарный к. п. д. преобразований дан с учетом ГЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971. 320 с.
2. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976. 256 с.
3. Автоматизированный электропривод. Электротехнология и электроснабжение промышленных предприятий. Обзорная информация. 1973, № 44, с. 23 (ВИНИТИ).
4. Антропов П. Я. Топливо-энергетический потенциал земли. М., 1974, 263 с. (ВИНИТИ).
5. Анчишкин А. И. Прогнозирование роста социалистической экономики. М., «Экономика», 1973. 294 с.
6. Базелли Ф. О применении вариантов производственной функции Кобба-Дугласа для прогнозирования конечного потребления энергии. Алма-Ата, 1970, 23 с. (Материалы симпозиума по ЕЭК ООН по математическим моделям экономики секторов энергетики, раздел IV).
7. Барк С. Е., Ильина Е. Н., Уткина Л. Д. Экономическая эффективность использования природного газа в машиностроении. — В кн.: Нагревательные устройства в кузнечном и штамповочном производстве. М., «Знание», 1972, с. 59—63.
8. Беркович В. М., Калошин Ю. П., Татарников В. П., Шендерович А. С. Проектирование АЭС с блоками ВВЭР мощностью 1 млн. кВт. — «Теплоэнергетика», 1974, № 4, с. 18—22.
9. Бесчинский А. А. Экономические характеристики гидроэнергетики. — В кн.: Вопросы народного хозяйства СССР. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 142—160.
10. Бесчинский А. А., Волькенау И. М., Зоммерград Ф. М., Рокотян С. С. Эффективность концентрации производства и определения оптимальных размеров предприятий в электроэнергетике. — В кн.: Вопросы оптимального размера предприятий в промышленности СССР. М., «Наука», 1968, 512 с.
11. Бесчинский А. А., Коган Ю. М. Ленинский план ГОЭЛРО и развитие советской энергетики. — «Вопросы экономики», 1970, № 12, с. 15—16.
12. Бесчинский А. А., Коган Ю. М. Проблемы электрификации городов. — В кн.: Перспективы преобразования окружающей человека городской среды. М., Стройиздат, 1973, с. 333—367.
13. Бесчинский А. А., Фельдман М. П. Принципы определения экономической эффективности капитальных вложений в объекты комплексного назначения. — В кн.: Капитальные вложения и резервы их использования. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 154—189.
14. Бялковская В. С., Брянский Г. А. Технические и экономические основы кузнечного производства. М., «Машиностроение», 1972. 272 с.
15. Болотов В. В., Гусев В. Н., Огороков В. Р., Шахиджания В. М. Экономика и организация энергетического хозяйства СССР. Л., «Энергия», 1969. 516 с.

16. Будаев В. Ю., Панова М. И. Экономические проблемы технического прогресса. М., «Мысль», 1974. 286 с.
17. Ваг Л. А., Захаров С. Н. Методы экономической оценки в энергетике. М., «Энергия», 1969. 272 с.
18. Верченко В. Р., Кубарев А. И., Голиков Е. С. Современные методы прогнозирования качества изделий. М., 1973. 46 с. (Обзорная информация. Госкомитет стандартов СССР).
19. Виленский М. А. По ленинскому пути сплошной электрификации. М., «Наука», 1969. 374 с.
20. Виленский М. А. Экономические проблемы электрификации СССР. М., «Наука», 1975. 200 с.
21. Внедрение электрохимических и электрофизических методов обработки материалов — один из путей повышения производительности труда и качества. Омск, 1974. 148 с. (Тезисы докладов научно-технической конференции).
22. Волков О. Показатели технического уровня производства. — «Вопросы экономики», 1970, № 8, с. 58—67.
23. Волкович А. Организационно-экономические вопросы технического прогресса в термическом производстве. — «Труды Уральского политехнического института», сб. 212. Свердловск, 1973, с. 48—51.
24. Вольфовский Г. С. Определение экономической эффективности нового электротермического оборудования (Методика и практика расчетов). М., «Энергия», 1968. 146 с.
25. Вопросы исследования внешних связей. Иркутск, 1972. 55 с. (Сибирский энергетический институт СО АН СССР).
26. Вопросы электрификации промышленности и быта. — «Труды Ленинградского инженерно-экономического института». М.—Л., «Энергия», 1964, вып. 51. 359 с.
27. Высокочастотная электротермия (справочник). Под ред. А. В. Донского. М.—Л., «Машиностроение», 1965. 564 с.
28. Г. Р. Грейнер. Результаты исследования систем смешанного отопления — В кн.: Электротеплоснабжение быта и сельскохозяйственного производства. Рига, 1974, с. 122—127 (Латвийское республиканское правление научно-технического общества энергетики и энергетической промышленности).
29. Дмитриев В. А. Экономическая эффективность и дальнейшие возможности прогрессивных видов тяги. — «Железнодорожный транспорт», 1970, № 12, с. 6—13.
30. Закгейм Г. М., Смирнова В. А. Рациональные сферы применения электрического и газового нагрева при термообработке металлов. — В кн.: Опыт рационального использования топлива, электроэнергии и тепловой энергии. Всесоюзный научно-технический семинар. М., 1973, с. 124—128 (ВДНХ СССР).
31. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства. М., «Энергия», 1973. 56 с.
32. Кваша Я. Б. Резервные мощности. М., «Наука», 1971. 216 с.
33. Кваша Я. Б. Статистика новой техники. М., «Статистика», 1966. 264 с.
34. Кириллин В. А. Энергетика — проблемы и перспективы. — «Коммунист», 1975, № 1, с. 43—51.
35. Клешук С. Е. Достижения и тенденции развития методов электрической размерной обработки металлов за рубежом. — «Электронная обработка материалов», 1973, № 5, с. 26—30.

36. Коган Ю. М. Социально-экономические аспекты электрификации быта и сферы обслуживания. — «Известия АН СССР. Серия экономическая», 1973, № 5, с. 104—115.
37. Козельцев Л. И. Термообработка изделий из реактопластов токами высокой частоты. — «Пластические массы», 1974, № 3, с. 40—42.
38. Кондиционирование воздуха. Сборник статей. Л., 1971. 107 с. (Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда).
39. Коссов В. В. Межотраслевые модели. Теория и практика использования. М., «Экономика», 1973. 359 с.
40. Костин А. А. Производительность труда и технический прогресс. М., «Экономика», 1974. 255 с.
41. Костоусов А. И. Станкостроительная промышленность в 8-й пятилетке. М., «Машиностроение», 1971. 135 с.
42. Краев Э. П., Холянов В. С., Холянова В. М. Предпосылки широкой электрификации в сельском хозяйстве юга Дальнего Востока. — В кн.: Электротеплоснабжение быта и сельскохозяйственного производства. Рига, 1974, с. 149—157 (Латвийское республиканское правление научно-технического общества энергетики и электротехнической промышленности).
43. Краюхин Г. А. Эффективность производства и технический прогресс. Л., Лениздат, 1973. 199 с.
44. Кржижановский Г. М. Сочинения. Т. 1. Электроэнергетика. М.—Л., Госэнергоиздат, 1933. 628 с.
45. Кржижановский Г. М. Энергетика и социалистическая реконструкция. — «Плановое хозяйство», 1929, № 1, с. 7—53.
46. Кропивницкий Н. Н. Технология металлов. Л., Лениздат, 1973. 463 с.
47. Кудрин Н. А., Лукьянов Л. А., Соколов А. К. Установки плазменно-индукционного нагрева. М., «Металлургия», 1971, 152 с.
48. Кузнецов Б. Г. История энергетической техники. М.—Л., ОНТИ, 1937. 312 с.
49. Кузнецов Б. Г. Физика и экономика. М., «Наука», 1967. 86 с.
50. Львов Д. С. Основы экономического проектирования машин. М., «Экономика», 1966. 296 с.
51. Макаров А. А., Макарова А. С., Зейлигер А. Н. Исследования зоны неопределенности оптимального развития. — «Экономика и математические методы», 1970, вып. 6, с. 844—863.
52. Макаров А. А., Мелентьев Л. А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. Новосибирск, «Наука», Сибирское отделение АН СССР, 1973. 274 с.
53. Материалы конференции по экономической эффективности оздоровительных мероприятий в промышленности. Кривой Рог, 1971. 64 с. (Криворожский институт гигиены труда и профзаболеваний).
54. Мелентьев Л. А., Штейнгауз Е. О. Экономика энергетики СССР, М.—Л., Госэнергоиздат, 1968, с. 431.
55. Мельников Н. В. Топливно-энергетические ресурсы СССР, М., «Наука», 1971. 64 с.
56. Методика определения эффективности гидроэлектростанций, М.—Л., Госэнергоиздат, 1961. 60 с.
57. Методика расчета экономической эффективности новой техники в машиностроении. Л., «Машиностроение», 1967. 499 с.

58. **Методика технико-экономических расчетов в энергетике.** М. 1966. 12 с. (Госкомитет Совета Министров СССР по науке и технике).

59. **Методология прогнозирования экономического развития СССР.** М., «Экономика», 1971. 343 с.

60. **Михайлов В. М.** Техничко-экономические показатели различных схем энергоснабжения коммунально-бытовых потребителей. — В кн.: Электротеплоснабжение быта и сельскохозяйственного производства. Рига, 1974, с. 51—61 (Латвийское республиканское правление научно-технического общества энергетики и электротехнической промышленности).

61. **Моисеев В. П.** Эффективность применения электро- и автопогрузчиков на внутризаводских грузопотоках. — В кн.: Вопросы повышения эффективности машиностроительного производства. Челябинск, Южно-Уральское книжное издательство, 1972, с. 48—51.

62. **Морозов Н. М.** Разработка системы машин для комплексной механизации животноводства. — «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1975, № 6, с. 14—17.

63. **Научно-технический прогресс и эффективность общественного производства.** Под ред. М. А. Виленского. М., «Наука», 1972. 391 с.

64. **Народное хозяйство СССР в 1960 г.** М., Госстатиздат, 1961. 943 с.

65. **Народное хозяйство СССР в 1967 г.** М., «Статистика», 1968. 1008 с.

66. **Народное хозяйство СССР в 1968 г.** М., «Статистика», 1969. 831 с.

67. **Народное хозяйство СССР в 1969 г.** М., «Статистика», 1970. 864 с.

68. **Народное хозяйство СССР в 1970 г.** М., «Статистика», 1971. 830 с.

69. **Народное хозяйство СССР в 1972 г.** М., «Статистика», 1973. 824 с.

70. **Народное хозяйство СССР в 1973 г.** М., «Статистика», 1974. 880 с.

71. **Народное хозяйство СССР в 1974 г.** М., «Статистика», 1975. 862 с.

72. **Опыт эксплуатации промышленных роботов (По материалам II международного симпозиума по промышленным роботам).** М., 1974. 95 с.

73. **Осканов Ж., Шокобаев Т. Д., Песин Б. И.** Экономическая эффективность электротермических процессов в цветной металлургии Казахстана. — «Труды Казахского политехнического института имени В. И. Ленина». Сб. 33, Алма-Ата, 1971.

74. **Павлов В. И., Фиошин М. Я.** Электросинтез органических соединений. М., «Наука», 1971. 142 с.

75. **Палтерович Д. М.** Планирование потребности в оборудовании. М., «Экономика», 1972. 223 с.

76. **Палтерович Д. М.** Технический прогресс в машиностроении и его роль в развитии экономики. М., «Знание», 1971. 21 с.

77. **Пашко И.** Металлоемкость продукции и технический прогресс. — «Плановое хозяйство», 1974, № 9, с. 29—36.

78. **Петрушин Н. И.** Электрификация и производительные силы Казахстана. Алма-Ата, «Казахстан», 1973. 207 с.

79. Пирхавка П. Я., Соколовский Е. В., Мурадова Л. И. Определение эффективности электрификации тепловых процессов. — «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1975, № 9, с. 26—29.
80. Полешук Н. Г. Энерговооруженность и производительность труда. М., «Экономика», 1973. 175 с.
81. Поляк А. М. Интенсификация производства и проблемы снижения материалоемкости. М., «Экономика», 1973. 143 с.
82. Поляк А. М. Улучшение использования металла в народном хозяйстве СССР. М., «Наука», 1971. 208 с.
83. По материалам докладов, прочитанных на VI международном конгрессе по электротермии в Брайтоне. Вып. 1. М., 1969. 67 с. (Информэлектро).
84. Попилов Л. Я. Основы электротехнологии и новые ее разновидности. Л., «Машиностроение», 1971. 213 с.
85. Попов В. Г., Хаблак Н. Т. Техничко-экономическое обоснование применения электроэнергии для полной электрификации быта села. — В кн.: Электротеплоснабжение быта и сельскохозяйственного производства. Рига, 1974, с. 62—64 (Латвийское республиканское правление научно-технического общества энергетики и электротехнической промышленности).
86. Пробст А. Е. Вопросы размещения социалистической промышленности. М., «Наука», 1971. 378 с.
87. Пути повышения эффективности заготовительных производств в машиностроении Литовской ССР. Аналитический обзор. Вильнюс, 1972. 14 с. (Литовский научно-исследовательский институт технико-экономической информации).
88. Пути повышения эффективности производства в машиностроении. Тезисы докладов межзональной научно-технической конференции. Уфа—Свердловск. 1973. 34 с. (Башкирское республиканское правление НТО машиностроительной промышленности).
89. Расулов С. А. Некоторые вопросы экономики плавки чугуна для отливок. — В кн.: Проблемы экономики и совершенствования планирования народного хозяйства БССР, ч. II, Минск, 1971, с. 311—315.
90. Робер Ж. Газ в завтрашнем мире. Международный газовый конгресс (EDSDYG). 1970. 33 с.
91. Ройтбурд Л. Н., Иванов И. Н., Бобылев В. Г. и др. Техничко-экономические показатели плазменно-дугового переплава — «Металлургическая и горнорудная промышленность», 1973, № 6, с. 62—64.
92. Руководящие указания по использованию замыкающих затрат на топливо и электрическую энергию. М., «Наука», 1973. 54 с.
93. Савенко Ю. Н., Штейнгауз Е. О. Энергетический баланс. М., «Энергия», 1971. 183 с.
94. Сатановский Л. Г., Мирский Ю. А. Нагревательные и термические печи в машиностроении. М., «Металлургия», 1971. 383 с.
95. Семененко Н. А. Вторичные энергоресурсы промышленности и электротехнологическое комбинирование. М., «Энергия», 1968. 296 с.
96. Скворцов-Степанов И. И. Электрификация РСФСР в связи с переходной фазой мирового хозяйства. Предисловие В. И. Ленина и Г. М. Кржижановского, М., Госиздат, 1922. 392 с.
97. Скулкин М. Р. Проблемы индустриального развития социалистического производства. Свердловск, «Знание», 1973. 37 с.

98. Справочник по электропотреблению в промышленности. М., «Энергия», 1969. 432 с.
99. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий под ред. А. А. Федорова и Г. В. Сербиновского. Книга вторая. М., «Энергия». 528 с.
100. СССР в цифрах в 1974 г. М., «Статистика», 1975. 224 с.
101. Стырикович М. А. Взаимодействие топливно-энергетического комплекса с окружающей средой. — «Вестник АН СССР», 1975, № 2, с. 13—23.
102. Тенденции энергопотребления и экономический рост. Под ред. Н. М. Виленского. М., «Наука», 1974. 246 с.
103. Теория и практика прогнозирования развития науки и техники в странах — членах СЭВ. М., «Экономика», 1971. 407 с.
104. Техничко-экономическая эффективность оздоровления условий труда. Киев, «Знание», 1974. 42 с.
105. Технология металлов и других конструкционных материалов. Под ред. проф. Г. А. Глазова, канд. техн. наук К. М. Скобникова. Л., «Машиностроение», 1972. 520 с.
106. Технология оборудования механосборочного производства. — «Экспресс-информация», ВИНТИ, 1974, № 12, с. 3—9.
107. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., «Экономика», 1969. 15 с.
108. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. М., Госпланиздат, 1960. 22 с.
109. Трахтенберг Ю. Б., Климентьев В. И., Голованов В. Н. Импульсная штамповка деталей. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1974, № 1, с. 4—6.
110. Трехов М. И. Рациональное использование электроэнергии на машиностроительных заводах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1958. 212 с.
111. Троицкий А. А. Основные направления долгосрочных научных исследований в энергетике. — «Теплоэнергетика», 1975, № 5, с. 8—11.
112. Филатов А. И. Влияние электромобилей на качество воздушного бассейна в больших городах. — В кн.: Оздоровление воздушной среды на предприятиях и воздушного бассейна г. Москвы. М., «Знание», 1974, с. 163—166.
113. Хачатуров Т. С. Советская экономика на современном этапе. М., «Мысль», 1975. 368 с.
114. Хвойка И. Цветные металлы и их сплавы М., «Металлургия», 1973. 239 с.
115. Хейнеман С. А. Проблемы интенсификации промышленного производства, М., «Экономика», 1968. 183 с.
116. Цыбакин Н. И., Потапов А. Н. Цена рабочего места и ее роль в планировании технического прогресса. — «Научные труды Челябинского политехнического института». 1973, № 120, с. 48—54.
117. Чукаев Д. С. Электрификация городского хозяйства. М., «Высшая школа», 1974. 214 с.
118. Шафранова О. Основные и вспомогательные рабочие в промышленности. — «Социалистический труд», 1966, № 12, с. 118—123.
119. Штейнгарт Г., Серебряков Б., Рабкина А. Экономическая оценка направлений технического прогресса в производстве некоторых нефтехимических мономеров. — В кн.: Вопросы экономиче-

ской эффективности научно-технического прогресса в химической промышленности. М., 1972, с. 39—49 (Московское отделение Всесоюзного химического общества имени Д. И. Менделеева).

120. Шур С., Нетчерт Б. Энергетика в экономике США 1850—1975 гг. М., Соцэкгиз, 1963. 434 с.

121. Электрификация СССР. Под ред. П. С. Непорожного. М., «Энергия», 1970. 543 с.

122. Электрошлаковый переплав, вып. 2. Киев, «Наукова думка», 1974. 298 с.

123. Электроэнергетическая база экономических районов СССР под ред. В. К. Савельева. М., «Наука», 1974, 229 с.

124. Энергетика СССР в 1971—1975 годах. Под ред. А. С. Павленко и А. М. Некрасова. М., «Энергия», 1972. 264 с.

125. Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы. М., «Наука», 1967. 600 с.

126. Энергетический баланс. Терминология, вып. 86. М., «Наука», 1973. 31 с.

127. Эргардт Э. И. К вопросу выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистем. — «Известия АН Латвийской ССР. Серия физических и технических наук», 1972, № 4, с. 88—92.

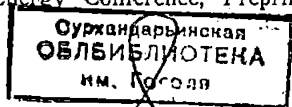
128. Юдкин А. К., Оберман Я. И. Современные плавильные агрегаты для плавки чугуна. Обзор. М., 1973. 73 с. (ВНИИЭСМ).

129. Янкина Т. И. Использование электроэнергии для отопления жилых зданий в северной зоне страны. — В кн.: Электрификация быта городского и сельского населения. Краткие тезисы докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию. Л., 1974, с. 118—121.

130. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М., «Прогресс», 1974. 586 с.

131. Survey of Energy Resources, W. E. C., N. Y., 1974. 400 p.

132. IX World Energy Conference, Preprints, 1974, vol. 1—6, 1974.



29/500

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава первая. Энергетика и народное хозяйство . .	10
1-1. Пропорции развития энергетики и экономики СССР	10
1-2. Энергетические ресурсы СССР и мира	31
Глава вторая. Электрификация и экономический рост	38
2-1. Соотношение между производительностью и электровооруженностью труда	38
2-2. Соотношение между электровооруженностью труда и показателями технического уровня производства	52
Глава третья. Методы оценки экономической эффективности капиталовложений и технико-экономических расчетов в энергетике	75
3-1. Общие вопросы оценки эффективности капитальных вложений в энергетику. Методы сравнительной эффективности	75
3-2. Замыкающие затраты в экономических расчетах. Метод оценки эффективности комплексных мероприятий	91
3-3. Оценка общей (абсолютной) эффективности . .	99
Глава четвертая. Проблемы долгосрочного прогнозирования электрификации	103
4-1. Методологические основы и принципы прогнозирования электрификации	103
4-2. Методы прогноза уровня электрификации и потребления электроэнергии	114
Глава пятая. Направление технического совершенствования энергетики	131
5-1. Совершенствование структуры и направлений развития энергетики	131
5-2. Динамика экономических показателей производства электроэнергии	160
Глава шестая. Энергетика и окружающая среда . . .	170
Глава седьмая. Основные факторы и предпосылки развития электрификации	187
7-1. Основные этапы и закономерности развития энергетического хозяйства и электрификации	187
7-2. Электроэнергия как энергоноситель	209
	423

	Стр.
7-3. Технологическая структура производства и факторы, ее определяющие	223
Глава восьмая. Факторы, влияющие на показатели и выбор энергопотребляющего оборудования, технологий и энергоносителей	242
8-1. Технические факторы и их экономическая оценка	242
8-2. Социально-экономические факторы	270
8-3. Природно-географические факторы	279
Глава девятая. Основные направления электрификации народного хозяйства	287
9-1. Современные тенденции электрификации	287
9-2. Развитие новых направлений электрификации	308
Глава десятая. Направление электрификации силовых и технологических процессов машиностроения	331
10-1. Современное состояние электрификации машиностроения	331
10-2. Рост потребления электроэнергии в традиционных процессах	339
10-3. Новые электротехнологии в машиностроении	359
Глава одиннадцатая. Электрификация быта и рост потребления электроэнергии в жилищах	364
11-1. Задачи электрификации быта	364
11-2. Комплекс электробытовых приборов и электропищеприготовление	373
11-3. Применение электроэнергии для горячего водоснабжения, отопления и холодоснабжения жилых зданий	389
<i>Приложение 1. Анкета № 1. Пример анкеты экспертов, участвующих в коллективной оценке</i>	<i>407</i>
<i>Приложение 2. Классификация технологий народного хозяйства</i>	<i>409</i>
<i>Приложение 3. Перечень показателей, необходимых для сопоставления взаимозаменяемых технологий</i>	<i>412</i>
<i>Приложение 4. Использование топливно-энергетических ресурсов</i>	<i>413</i>
Список литературы	416