

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН  
CENTRAL ECONOMICS AND MATHEMATICS INSTITUTE RAS

РОССИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК

RUSSIAN  
ACADEMY OF SCIENCES

С.А. Некрасов

**ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ  
РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Часть 1.

От роста мощности энергосистемы  
к повышению структурной устойчивости  
электроэнергетики

Москва  
ЦЭМИ РАН  
2020

**Некрасов С.А.** Вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики. Часть 1. От роста мощности энергосистемы к повышению структурной устойчивости электроэнергетики [Текст]: монография. – М.: ЦЭМИ РАН, 2020. – 180 с. (Рус.)

В монографии рассмотрены вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики. На основе тектологии и системной экономической теории показано, что в отличие от послереформенного роста количественных показателей отдельных энергетических компаний, основой повышения эффективности технологической цепочки «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов» как единой системы является рост структурной устойчивости энергетики в результате переноса приоритетов на развитие потребителей. За счет развития потребителей, но не в ущерб им, возможно снижение цен на электроэнергию, повышение надежности энергоснабжения и улучшение текущих показателей работы энергосистемы, а в перспективе – интеграция в нее возобновляемых источников с минимальными издержками.

Для преподавателей вузов, научных работников, консультантов и экспертов топливно-энергетического комплекса, аспирантов и магистрантов.

*Ключевые слова:* концепция развития электроэнергетики, структурная устойчивость энергетики, снижение издержек энергоснабжения, гибкость энергосистемы, интеллектуальные микросети, когенерация, ценология, возобновляемые источники энергии.

**Nekrasov S.A.** Issues of establishing an alternative concept of energy development. Part 1. From an increase in the capacity of the power system to an increase in the structural stability of the electric power industry. – Moscow: CEMI Russian Academy of Sciences, 2020. – 180 p. (Rus.)

The monograph presents the Issues of establishing an alternative energy development concept. Based on tectology and systematic economic theory, it is demonstrated that, unlike post-reform increase in quantitative figures of certain energetic companies, the basis for the effectiveness growth of technological chain “production-consumption of energetic resources” as an integral system is the growth of energy development structural sustainability as a result of shifting priority to consumers’ development. Fall of tariffs for electric power is possible due to consumers’ development, but without any damage to them, as well as increase in energy supply reliability and current energetic system figures, and prospectively – even its integration with renewable sources with minimal expenses.

For university teachers, researchers, consultants and experts in the energy sector, graduate students and undergraduates.

*Keywords:* concept for the development of the electric power industry, structural sustainability of the energy sector, reducing energy supply costs, flexibility of the energy system, smart microgrids, cogeneration, cenology, renewable energy sources.

Автор

*Некрасов Сергей Александрович*, кандидат экономических наук, кандидат технических наук.

Монография публикуется по решению Ученого Совета ЦЭМИ РАН. Протокол от 22 апреля 2020 г.

Рецензенты: Егорова Н.Е., д.э.н., профессор; Бушуев В.В., д.т.н., профессор.

УДК 338.22.021.1:620.92

ББК 65.2/4-5:31.19

ISBN 978-5-8211-0790-9

ISBN 978-5-8211-0791-6 (Часть 1)

© Текст. Некрасов С.А., 2020 г.

© ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН, 2020 г.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ЧАСТЬ 1.

### ОТ РОСТА МОЩНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ К ПОВЫШЕНИЮ СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Предисловие В.В. Бушуева.....	6
Предисловие Н.Е. Егоровой.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	10
ГЛАВА 1. ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ С ПОЗИЦИИ ТЕКТОЛОГИИ И СИСТЕМНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ.....	12
1.1. Закономерности эволюции сложных систем.....	12
1.2. Системный подход как основа достижений отечественной энергетики.....	19
1.3. Рост экологичности и трансформация энергетики развитых стран в XXI в. ....	39
1.4. Гармонизация тетрады российской электроэнергетики.....	47
Выводы к главе 1.....	53
ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	58
2.1. Цена электроэнергии с точки зрения обеспечения энергетической безопасности.....	58
2.2. Фрагментарный подход – одна из причин высокой стоимости энергоснабжения и региональной дифференциации цен на электроэнергию ....	63
2.3. Результативность действующих экономико-организационных механизмов повышения эффективности энергоснабжения.....	80
2.4. Энергосбережение и развитие автономной генерации как пути снижения оплаты энергоснабжения потребителем.....	91
2.5. Взаимосвязь эффективности использования генерирующих мощностей и стоимости энергоснабжения.....	99
Выводы к главе 2.....	112
ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	115
3.1. Качественное энергоснабжение и возможности роста российской экономики.....	115
3.2. Потребитель – ключевой элемент альтернативной концепции развития электроэнергетики.....	128
3.3. Интеграция производителей и потребителей электроэнергии – путь повышения эффективности производственных систем электроэнергетики.....	133

3.4. Снижение издержек энергоснабжения в результате совместного развитие электроснабжения и систем жизнеобеспечения .....	149
3.5. Альтернативный подход к построению энергоснабжения удаленных потребителей на основе газификации как пример координации развития систем электро и газоснабжения .....	163
3.6. Координация переработки бытовых и промышленных отходов и теплоснабжения .....	170
Выводы к главе 3 .....	179

## **ЧАСТЬ 2.**

### **ПУТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

#### ГЛАВА 4. ПРИНЦИПЫ СОГЛАСОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ И ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- 4.1. Подходы к определению распределённой энергетики
  - 4.2. Возобновляемая энергетика, снижение негативного воздействия на окружающую среду и сравнительный анализ эффективности развития распределённой энергетики на основе когенерации и ВИЭ в условиях России
  - 4.3. Ориентированная на существующую тепловую инфраструктуру когенерация – наиболее действенное решение снижения издержек энергоснабжения
  - 4.4. Проблемы реализации тепловой энергии объектами распределённой генерации и повышение экономической эффективности когенерации
- Выводы к главе 4

#### ГЛАВА 5. ЦЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ

- 5.1. Переход к ценологическому распределению генерирующих мощностей – закономерный результат совместного развития тепло и электроснабжения
  - 5.2. Повышение эффективности производственных систем энергетики в результате ценологического распределения генерирующих мощностей
  - 5.3. О необходимости перевода ТЭЦ в парогазовый режим в условиях координации развития тепло и электроснабжения
- Выводы к главе 5

#### ГЛАВА 6 ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МОЩНОСТЕЙ И ОБЪЕМОВ НОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

- 6.1. Модель Лотки-Вольтерры и моделирование экономических процессов
- 6.2. Анализ закономерностей изменения числа часов использования мощности в мире

### 6.3. Мониторинг ЧЧИМ – инструментарий контроллинга результативности реализации альтернативной концепции

Выводы к главе 6

## ГЛАВА 7 ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОЙ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ

### 7.1. Анализ прогнозов электропотребления

### 7.2. Взаимосвязь выхода УПЭ на насыщение и завершения роста доли городского населения

### 7.3. Сопоставление динамики УПЭ развитых и развивающихся стран с динамикой УПЭ Российской Федерации

### 7.4. Поддержка схождения региональных значений УПЭ как механизм поддержки роста структурной устойчивости российской экономики

### 7.5. Обоснование величины мощности энергосистемы, необходимой для надёжного энергоснабжения при переходе к альтернативной концепции развития электроэнергетики

Выводы к главе 7

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Источники

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Доступность тарифов и степень ее влияния на региональное развитие и миграцию населения

Влияние ресурсосберегающей концепции развития общества на энергетику

Проблема разуплотнения графика потребления электроэнергии

Трансформация требований к развитию энергоснабжения в результате развития возобновляемых источников энергии

Соотношение потребления тепла и электроэнергии и некоторые проблемы теплоснабжения

О независимости ЧЧИМ от состава оборудования генерирующих мощностей

Оценка влияния массового внедрения электромобилей на объемы потребления электроэнергии

Результаты моделирования влияния маржинальной системы ценообразования в энергетике на экономику

Анализ динамики стоимости электроснабжения

## ПРЕДИСЛОВИЕ В.В. БУШУЕВА

Проблем в электроэнергетике накопилось достаточно много. И накопились они благодаря реформе, проведенной в электроэнергетике, которая была вызвана переходом на рыночные отношения. В рыночных отношениях электроэнергетика оказалась заложницей. К сожалению – это факт, причем не очень приятный. Поэтому разобраться, что же сегодня является криминальным в реформе электроэнергетики и какие возможные направления и пути выхода из этой ситуации сама по себе задача весьма благородная и в научном и в практическом плане. Решению этой задачи и посвящена монография С.А. Некрасова «Вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики».

Основной недостаток сегодняшней ситуации заключается в том, что при переходе на чисто рыночные субъектные отношения мы выделили отдельно производителя, отдельно распределителя, отдельно поставщика, отдельно потребителя электроэнергии. К сожалению, поставив этих субъектов на разные точки, на разные места мы создали совершенно не нужную конфронтационную ситуацию, когда каждый решая свои частные вопросы, по сути дела максимизирует свою прибыль. В итоге происходит уход от конечного результата. А конечным результатом энергетики является обеспечение эффективности нашего энергоснабжения, т.е. энергоснабжения потребителя. Эффективность включает в себя два понятия: дешевизна и надежность энергоснабжения.

Поэтому попытка интегрировать этих сегодня разрозненных субъектов в некую связанную систему с общим целевым видением ее конечного результата является весьма важной и нужной. Автор определил вектор решения этой проблемы. Эта задача объемная, долгосрочная, многопрофильная и многоплановая и, соответственно, не имеет решения в пределах одной монографии, даже десятка исследований. Но грамотно поставить эти задачи – это уже само по себе весьма благородное дело. В этом отношении я склонен считать, что постановка задачи в том виде, в котором она присутствует в данной работе, важна и в научном и в практическом плане.

Основа предлагаемой автором концепции – это построение новых отношений, в которых потребитель является ключевым звеном. Одной из сильных сторон альтернативной концепции является формирование подхода, в котором децентрализация и централизация – это не антиподы. Когда говорится об интеграции, то здесь должна идти речь не только об интеграции потребителя и производителя, но и об интеграции децентрализованной и централизованной системы энергоснабжения в некоторую единую, многосвязанную систему, ориентированную на конечный результат: обеспечение потребителя достаточным количеством энергии, по достаточно разумным ценам и при приемлемых экологических, технологических и иных параметрах. То есть обеспечить его энергетическую безопасность. Поэтому постановка задачи совершенно правильна.

В работе показана цикличность и взаимосвязанность эффективности использования энергетических мощностей и объема нового энергетического строительства, обосновано, что их описание возможно при помощи уравнения осцилляторов. И впервые на основе построения фазовых диаграмм показано, что эта периодичность является не совпадающей по фазе. Вначале идет спрос на новые источники, после ввода новых мощностей, инвестор нацелен на наиболее быстрый возврат своих затрат и потому начинается процесс повышения коэффициента использования установленной мощности вновь введенных мощностей. Но если ориентироваться только на рост загрузки мощностей, не заботясь о своевременном вводе новых электростанций, мы попадем в крайне опасную ситуацию. Так как инвестиционный цикл в энергетике порядка 10–15 лет, если вы своевременно не введёте новые мощности, то никакие процессы выравнивания графика нагрузки вас не спасут от возможных угроз энергетической безопасности. В этом плане я вижу научную новизну, которая заключается в показе периодической зависимости между чередованием ввода новых мощностей и чередованием задачи повышения ЧЧИМ. Эта задача имеет серьезную научную значимость.

Достаточно спорны предлагаемые подходы к интеграции систем электро-, тепло- и газоснабжения в единое целое. Вопрос стоит не что лучше, а что в конечном итоге лучше управляемо, лучше обеспечивает надежность, и в конечном итоге предоставляет весь спектр энергетических услуг. И главное, нам нужны не электроэнергия и не тепло, а нам нужны в быту комфорт, а в производстве повышение производительности труда. Что для этого нужно и как сочетать различные виды энергии для достижения этого конечного результата – это зависит от структуры экономики.

Директор Института энергетических стратегий,  
д.т.н., проф.

В.В. Бушуев

## ПРЕДИСЛОВИЕ Н.Е. ЕГОРОВОЙ

Монография Некрасова Сергея Александровича «Вопросы формирования альтернативной концепции развития электроэнергетики» посвящена важной народнохозяйственной проблеме повышения эффективности энергоснабжения в условиях развития новых технологий. Автор обосновывает необходимость перехода от действующей концепции развития энергетики к альтернативной. Так как энергетика охватывает многие сектора, альтернативная концепция разработана для электроэнергетики, которая рассматривается во взаимосвязях с другими системами жизнеобеспечения. Среди достоинств книги следует выделить следующие позиции.

1. Сильную часть работы, связанную с теорией эволюционной динамикой и ее применением к анализу основных закономерностей развития электроэнергетики. На основе уравнения Лотки-Вольтерра показана взаимосвязь эффективности использования энергетических мощностей и нового энергетического строительства. Проведен анализ в самом широком диапазоне сравнений. Приведенная выборка характеризуется как охватом длительного интервала времени 1980–2009 гг., так и множества различных стран. Причем страны разделены на группы, сформированные по различным критериям: отдельно проведен анализ северных и южных стран, материковых и островных, развитых и разубающихся. Достаточно интересна выявленная закономерность цикличности изменения эффективности использования мощностей с периодом близким к 12 годам инвариантным для стран, различающихся по мощности энергосистемы более чем в десять раз и имеющих совершенно разную структуру экономики.

2. Применение ценологических распределений для исследования комплекса проблем, свойственных энергетике на сегодняшнем этапе ее развития. Представлены зависимости, как для потребителей, так и для производителей энергии, что дополняет результаты школы проф. Б.И. Кудрина. В работе рассмотрено их расширенное приложение, как к тепло, так и к электроэнергетике. Показано, что выявленные закономерности в распределении потребителей и производителей тепловой и электрической энергии целесообразно принимать во внимание для формирования промышленной политики.

3. Постановка задачи, касающаяся организационно-экономических механизмов, появившихся на базе новых технических и технологических решений и инноваций в области цифровой экономики. Среди рассмотренных организационно-экономических механизмов следует выделить такие, как плавающая цена на электроэнергию в микро смарт сетях, переход на летнее время для регулирования суточных изменений потребления электроэнергии. Сама идея использования этих механизмов для улучшения работы энергосистемы весьма содержательна, и поэтому заслуживает того, чтобы быть отмеченной как одно из оригинальных достоинств работы.



4. Представленный подход к прогнозированию потребности в расходовании энергоресурсов для России, основанный на проведении аналогий и сопоставлении с потреблением электроэнергии в других странах. Помимо дифференциации стран, с которыми проводится сравнение по уровню социально-экономического развития, исследована зависимость объемов электропотребления в странах с различными климатическими условиями. Несмотря на отсутствие каких-либо прямых математических доказательств, достоинство данного метода состоит в том, что он учитывает закономерности развития потребления в различных странах, особенно тех, которые перешли на индустриальный путь развития. Показано, что электропотребление в странах, в которых в основном индустриализация завершена, имеет нелинейный характер и выходит на асимптоту. Обосновано, что применимые в настоящее время методы, базирующиеся на утверждении о пропорциональном росте электропотребления в зависимости от увеличения объемов промышленного производства требуют корректировки. Несмотря на то, что предложенный метод приближенный, он более адекватно описывает перспективы роста электропотребления в России по сравнению со строго математически обоснованными методами. Выявлены и оценены размеры излишних производственных мощностей. Интересна предложенная дифференциация: деление России на две части Европейскую и Зауралье, и последующий анализ этих регионов, значительно отличающихся по удельным показателям электропотребления. Для этих частей приведены соответствующие аналоги.

Основываясь на перечисленных достоинствах работы, рекомендую ее публикацию в ЦЭМИ РАН.

Д.э.н., проф.

Н.Е. Егорова

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетика в современном мире играет ведущую роль, являясь основой развития всех других отраслей материального производства и социальной сферы, обеспечивая экономическую безопасность государства и его суверенитет. В силу своей стратегической значимости развитию энергетики уделялось первоочередное внимание. Однако показатели эффективности работы энергетики в последнее время заметно ухудшились: с 1991 г. более чем в 1,5 раза увеличились относительные технологические потери электроэнергии в электрических сетях на ее передачу; более чем в 1,5 раза выросла удельная численность персонала в отрасли; более чем в 2,5 раза снизилась эффективность использования капитальных вложений [405]. Энергетическая эффективность российской экономики в 5 раз хуже среднемировой, а нагрузка энергетики на экономику в 4 раза выше: капитальные вложения в отечественную энергетику составляют 6% ВВП при 1,5% в мире целом [44].

В 2006–2009 гг. российским правительством введен термин «энергетическая держава», обозначающий государство, обладающее большими запасами углеводородного сырья, урана, технологиями использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и являющееся крупнейшим экспортером энергоносителей (хотя бы одного из перечисленных видов). Почти по всем характеристикам Россия отвечает этому определению. Слабыми звеньями являются показатели эффективности в области конечного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), что наиболее явно проявляется в потреблении тепла и электроэнергии, а также невысокий уровень развития ВИЭ, которые в мире развиваются опережающими темпами.

Развитие энергетики достигалось за счет масштабных инвестиций в условиях недостаточно эффективного их использования. Так в 1980-х гг. на развитие российской энергетики затрачивалось около  $\frac{1}{3}$  всех капиталовложений; при этом отношение капиталовложений к ежегодному доходу в электроэнергетике в настоящее время в 6–15 раз выше, чем в среднем по машиностроению [439].

Другим фактором, негативно влияющим на экономическое развитие, является высокая стоимость энергоснабжения. Положение еще усугубляется и тем, что в России запущены механизмы, ведущие к дальнейшему росту стоимости энергоснабжения. Так, рост тарифов на электроэнергию для предприятий и населения с 2008 по 2017 г. опередил инфляцию в 1,6 и 1,3 раза соответственно [476]. Для сравнения: в США на протяжении полувека приведенные цены на электроэнергию для промышленных предприятий неизменны (~ 6–9 центов за кВт·ч, что меньше, чем в РФ, особенно для средних и малых предприятий) с перспективой стабильности на последующие 20 лет. Высокая стоимость электроснабжения в долгосрочной перспективе обуславливает

снижение объема потребления электроэнергии и является фактором, определяющим экономическую безопасность страны.

Поскольку основные энергопотребляющие отрасли (ТЭК со всеми видами топлива, электрифицированный и трубопроводный транспорт, черная и цветная металлургия, химия, стройиндустрия) формируют значительную часть доходной части отечественного бюджета, рост цен на энергию может приводить не только к сдерживанию экономического развития, но даже к невозможности нормального функционирования общества и экономики при минимальном или нулевом экономическом росте. В условиях обострения конкуренции на мировых рынках, экономических санкций и торговых войн проблема повышения эффективности функционирования энергетики становится особенно актуальной.

Еще более актуальной данная проблема станет в обозримом будущем с переходом к цифровой экономике и информационному обществу, требующим повышения надёжности и качества энергоснабжения, а значит, и инвестиций. Однако цены на электроэнергию для промышленных потребителей уже сейчас являются лимитирующим фактором социально-экономического развития и в ряде случаев создают условия для стихийного перехода потребителей на установку собственной автономной генерации.

Обеспечение эффективного функционирования электроэнергетики как ведущей отрасли энергетики – необходимое условие экономического роста страны, требующее разработки альтернативной концепции (АК) её развития, ориентированной на выявление резервов производственных систем, разработку новых организационно-экономических и организационно-технических механизмов, стимулирующих снижение цен и повышение отдачи капитальных вложений, в целях улучшения качества жизни населения. Несмотря на значительное число публикаций по рассматриваемой проблеме, исследования не в полной мере учитывают новые технологические решения, позволяющие более эффективно осуществлять производство, передачу, резервирование и потребление ТЭР и использовать ВИЭ. Данная работа восполняет имеющуюся нишу в исследованиях с учетом системного подхода к проблеме и рассмотрения возможностей использования новых энергетических технологий для повышения эффективности функционирования энергетики.

# ГЛАВА 1.

## ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ С ПОЗИЦИИ ТЕКТОЛОГИИ И СИСТЕМНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

### *1.1. Закономерности эволюции сложных систем*

Среди реформ, проведенных в России на протяжении последних 30 лет, реформа электроэнергетики является одной из самых противоречивых и неоднозначно воспринимаемых обществом. С одной стороны, электроэнергетика успешно развивается [195], и монопольная отрасль, контролируемая государством, превратилась в рыночную, основанную на конкуренции и частной собственности. В отрасли проведены необходимые структурные преобразования, создана система рынков, обеспечено поступление масштабных инвестиций, что привело к резкому росту ввода мощностей в электроэнергетике [617]. Рентабельность предприятий генерации, передачи и распределения электроэнергии возросла в 2010–2018 гг. с 14% до более чем 20% [216], что является значением, превышающим средние показатели по отраслям экономики России (6,8% в 2018 г.). Высоки показатели социальной устойчивости отрасли (численность занятых, принятых и выбывших работников, созданных и ликвидированных рабочих мест, среднемесячная номинальная заработная плата в отрасли, количество работников, занятых во вредных условиях труда, удовлетворенность работников и их социальная обеспеченность) [618].

А с другой, результаты реформы – это:

- ухудшение эффективности работы энергетики: «с 1991 г. более чем в 1,5 раза увеличились относительные технологические потери электроэнергии в электрических сетях на ее передачу; более чем в 1,5 раза выросла удельная численность персонала в отрасли; более чем в 2,5 раза снизилась эффективность использования капитальных вложений» [405];
- «распад энергетической отрасли России», приведший к «разрушению энергокомплекса и потере управления им» [619];
- «системное разрушение системы: разработанные зарубежными консультантами преобразования российской электроэнергетики были изначально дезорганизационны и затратны. Их внедрение российскими лоббистами без учета реальных условий функционирования отечественных энергокомпаний дополнительно усугубило итоги для потребителей, экономики страны и самой отрасли» [349];
- запуск «энергетического тормоза развития экономики» [620].

Дополнительная аргументация любой из приведенных точек зрения едва ли повысит степень их научной обоснованности, и ее результатом станет не приближение к выработке общей позиции, не устранение расхождения мнений, а дальнейшее его углубление.

Задачей является рассмотрение данного противоречия и путей его решения в новом ракурсе, на основе системного подхода, с наиболее общей, находящейся вне энергетики, точки зрения. Создателем представления об общей теории систем считается Л. Берталанфи (L. Bertalanfy), который определял систему как комплекс взаимодействующих элементов: «Всё состоящее из связанных друг с другом частей будем называть системой» [627]. В последующем общая теория систем получила бурное развитие, и к 1974 г. существовало более 40 определений систем [669, с. 92–99]. На основе их анализа автор [669] остановился на определении системы как упорядоченного определенным образом множества элементов, взаимосвязанных между собой и образующих некоторое целостное единство. В этой работе под системой понимается совокупность элементов и (или) отношений, закономерно связанных в единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у элементов и отношений его образующих.

Наличие доступного и стабильного энергоснабжения всегда имело фундаментальное значение для развития общества. Рост мирового валового продукта аналогично ВВП конкретной страны чётко коррелирует с ростом энергопотребления. Вне зависимости от способа исчисления ВВП чётко прослеживается простая линейная корреляция между произведённым продуктом и потреблённой энергией. Изучение проблем энергетики, её развития и эволюции показало, что ключевая информация, определяющая доминантную часть современного развития, сосредоточена в динамике валового продукта и потреблении энергии [622]. Поэтому роль энергетики в экономике исключительна велика: энергетика сегодня является не отраслью экономики, а системой трансформации всех потенциальных ресурсов в совокупный капитал социума [621].

При изучении реального объекта, а тем более такой сложного и значимого как энергетика, системный подход состоит в том, что по отношению к нему осуществляют сначала макроподход, а затем – микроподход. «Наиболее характерным при этом является то, что отправным пунктом исследования является рассмотрение этого объекта во внешнем мире, а затем – членение его на составляющие, выделение их характерных подсистем, рассмотрение связей между ними и т.д.» [623]. То есть вначале происходит рассмотрение объекта как подсистемы некоторой более широкой, объёмлющей надсистемы, а после этого – как совокупность взаимосвязанных систем [624]. Для экономики такой минимальной надсистемой (надсистемной оболочкой) выступает общество [625].

В соответствии с этим проанализируем изменения, происходившие в отечественной энергетике, с позиции всеобщей организационной науки – тектологии. «Весь опыт науки убеждает нас, что возможность и вероятность решения задач возрастает

при их постановке в обобщенной форме» [626, т. 1, с. 46]. Тектология (в переводе с греческого – учение о строительстве) – общенаучная, даже наднаучная система. Она рассматривает все процессы в мире, описывая их едиными законами, и в этом смысле оказывается аналогом (во многом даже более продвинутым) общей теории систем Л. фон Берталанфи [627]. Исходным пунктом концепции А.А. Богданова является положение о том, что законы организации едины для всех объектов, в которых самые разнородные явления (элементы) объединяются структурными связями. Отсюда, подход к изучению любого явления должен основываться на исследовании любой системы как отношений всех ее частей, так и отношении ее как целого со средой, т.е. со всеми внешними системами [628].

Первый том тектологии был издан А.А. Богдановым в 1913 г., а в 1922 г. первая редакция трехтомной работы была завершена. Ее автор «был, по-видимому, первым, кто зафиксировал существование общих законов (правил) формирования и изменения организационных структур, независимо от их физической природы» [628]. Например, в биологии утверждение о том, что направленность эволюции исходит не от организма, а от взаимодействия организма со средой, было положено в основу синтетической теории эволюции.

Помимо тектологии, А.А. Богданов большое внимание уделял разработке организационных принципов хозяйственного плана молодого советского государства. Доклад по этой теме был опубликован в 1921 г. – год создания Государственной общеплановой комиссии – Госплан.

Согласно тектологии, «всякую человеческую деятельность можно рассматривать как некоторый материал организационного опыта и исследовать с организационной точки зрения» [626, т. 1, с. 69]. С этой позиции в определении энергетики Председателем Государственной общеплановой комиссии Г.М. Кржижановским как структуры (системы), включающей и энергопроизводство, и энергопотребление [553], базовая идея заключается в комплексном развитии энергетики путем соединения в новую организационную форму производства, передачи и потребления электроэнергии. В 1920-х гг. общее руководство энергетикой осуществляло Главное электротехническое управление (Главэлектро), а в конце 1930-х гг. – Народный комиссариат электростанций и электропромышленности СССР. Соответственно под энергетикой понималась деятельность, находящаяся в компетенции этих учреждений. В основном это производство и последующая передача электроэнергии ГЭС и районных тепловых электростанций, впоследствии получивших название государственных районных электростанций (ГРЭС).

На этом этапе не акцентировалось внимание на разделении понятий энергетика и электроэнергетика. Но по факту речь шла об электроэнергетике в сегодняшнем ее определении, приведенным в Федеральном законе «Об электроэнергетике»: «отрасли

экономики Российской Федерации, включающей в себя комплекс экономических отношений, возникающих в процессе производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки и электрической, и тепловой энергии), передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сбыта и потребления электрической энергии с использованием производственных и иных имущественных объектов» [94].

Корректировка понимания энергетики была проведена в 1960 г. В соответствии с [655] энергетика – это область народного хозяйства, науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, аккумулярование, распределение и потребление энергии. Электроэнергетика выступает как раздел энергетики, обеспечивающий электрификацию страны.

Расширение понятия «энергетика» и включение в него вопросов топливообеспечения произошло в 1991 г. после слияния Министерства угольной промышленности, Министерства нефтяной и газовой промышленности с Министерством энергетики и электрификации. Образовалось Министерство топлива и энергетики, в рамках которого были объединены вопросы энергетики, угле и торфодобычи, газо и нефтедобычи, а также систем транспортировки топлива (газо, нефтепроводов, углепроводов, трубопроводов водо-угольного топлива и т.п.). В последующем Минтопэнерго России было преобразовано в Министерство промышленности и энергетики Российской Федерации, а в 2008 г. – в Министерство энергетики.

Согласно Большому энциклопедическому словарю [181], «энергетика, энергетическая наука – наука о закономерностях процессов и явлений, прямо или косвенно связанных с получением, преобразованием, передачей, распределением и использованием различных видов энергии, о совершенствовании методов прогнозирования и эксплуатации энергетических систем, повышения КПД энергетических установок и уменьшения их экологического влияния на природу. Ведущая отрасль энергетики – электроэнергетика».

Таким образом, энергетике в понимании плана ГОЭЛРО соответствует электроэнергетика в вышеприведенном определении [94]. Поэтому в дальнейшем исследовании внимание сфокусировано на электроэнергетике – «отрасли экономики Российской Федерации, ... являющейся основой функционирования экономики и жизнеобеспечения» [94]. А проблемы торфяной, угольной, газовой, нефтяной, нефтеперерабатывающей промышленности, которые в настоящее время находятся в ведении Министерства энергетики Российской Федерации, затронуты только для более четкого понимания процессов, происходящих в системе энергоснабжения. Важным является тот факт, что в результате проведенных преобразований государственных органов, осуществляющих управление энергетикой, вопросы электрификации оказались внешними для отрасли.

Итак, в определении энергетики [628] изначальная идея заключалась в объединении в одно целое производства, распределения и потребления энергии. Но из ингрессии – соединения различающихся элементов в одно целое, вхождения элемента одного комплекса в другой [626, т. 2, с. 156] вовсе не следует совершенствование системы. Более того, противоположный процесс – разделение системы на части (дезингрессия) это:

- разрушение ранее существовавших связей;
- образование новых границ с окружающей средой, на месте которых формируются связи нового типа;
- внедрение элементов среды в систему по линиям уничтоженных сопротивлений;
- расхождение вновь образованных подсистем.

Последующее развитие новых выделившихся систем – это усложнение организационной формы изначальной системы, рост специализации, и в ряде случаев достижение более высоких результатов или, по меньшей мере, снижение издержек ранее получаемых. То есть ингрессии и дезингрессии – это взаимодополняющие этапы эволюционирования системы. Их результатом может быть как ее развитие, так и регресс.

Примеры отделений подсистем от системы:

- МВТУ им. Н.Э. Баумана – выделение в 1930 г. учебных (энергетического (МЭИ), авиационного (МАИ), инженерно-строительного (МИСИ), Академии противохимической защиты) и отраслевых институтов (Центрального аэрогидродинамического (ЦАГИ), Всесоюзного авиационных материалов (ВИАМ), Центрального авиационных моторов (ЦИАМ), Научного автотормозного (НАМИ), Всесоюзного электротехнического (ВЭИ) и ряда других);
- МГУ им. М.В. Ломоносова – выделение учебных институтов: первого медицинского в 1930 г. (1-й ММИ им. И.М. Сеченова), международных отношений в 1944 г. (МГИМО), физико-технического в 1946 г. (МФТИ).

Каждое из этих структурных преобразований сопровождалось установлением взаимно-дополнительных связей вновь образованных институтов с предприятиями и организациями страны. В итоге дезингрессии старейших учебных заведений России, проведенные как в 1930 г., так и в 1944 и 1946 г., каждый раз приводили к повышению эффективности надсистемы – системы образования и науки СССР.

Какой же механизм определяет, что совершенствованием системы в одних случаях является объединение частей в общую структуру, а в других – выделение из системы ее частей?

Это механизм отбора, постоянно действующий при взаимодействии системы с окружающей внешней средой. «Условием существования любой системы является определенная степень ее устойчивости к тем возмущающим воздействиям, которым



она постоянно подвергается» [630]. Если в результате организационных изменений устойчивость системы к воздействиям внешней среды повышается, то происходит их положительный отбор, и они в ней сохраняются. В противном случае следует отказ от прошедших изменений, система возвращается в исходное состояние, а в случае появления различного рода запретов для такого сценария, мобилизует ресурсы для перехода в другие, более устойчивые состояния либо изыскивает дополнительные источники для поддержания своего существования (в этом случае система потребляет ресурсы из надсистемы). Переход в более устойчивое состояние требует определенных затрат, и вероятность его реализации меньше в системе, устойчивость которой снизилась в результате предшествующих преобразований. То есть если после организационных изменений устойчивость всей экономики или какой-либо из ее частей уменьшилась, то вероятность последующего перехода в более устойчивое состояние будет ниже.

Переход в более устойчивое состояние в экономике и отказ от ранее проведенных структурных преобразований (как объединений в единое целое, так и разделений системы на части), если они не способствовали росту устойчивости с учетом изменений внешней среды, не зависит от типа экономических отношений и характерен для любых типов экономики. Между слиянием и последующим разделением торговой площадки EBay и платежной системы PayPal в рыночной экономике в XXI в. прошло более 10 лет. Можно привести примеры изменений, происходивших ранее в других типах экономических отношений примерно с аналогичным временным интервалом, но противоположного типа – смены дезингрессий на ингрессии:

- Московский институт философии, литературы и истории имени Н.Г. Чернышевского (МИФЛИ) был выделен из МГУ в 1931 г., а в ноябре 1941 г. объединён с МГУ в Ашхабаде, куда оба вуза были эвакуированы;
- факультет физико-химической биологии (ФФХБ) МФТИ был образован из факультета молекулярной и химической физики (ФМХФ) в 1982 г. и объединен с ним же в 1998 г.

В обоих случаях изменения внешней среды были вызваны внешними факторами, не прогнозируемыми на моменты принятия решения о проведении структурных преобразований. Ни начало войны и эвакуация 1941 г., ни реформирование экономических отношений 1990-х гг. и последующее изменение отношения к науке не были предсказуемы соответственно в 1930 и 1982 г. Но в обоих случаях внешняя среда принципиально изменилась. И в новых условиях как в мобилизационной экономике начала 1940-х гг., так и в переходной экономике 1990-х гг. путями повышения устойчивости рассматриваемых систем стал отказ от ранее проведенных организационных изменений. Причем цели, для решения которых эти изменения были выполнены, по мере последующего изменения внешней среды были достигнуты (развитие гуманитарных наук продолжилось в послевоенное время; биофармацевтический кластер МФТИ

был создан в 2010-е гг., когда началось восстановление Россией её технологического суверенитета). А возврат систем в исходные состояния являлся путем повышения их устойчивости в сложившихся ситуациях с учетом изменений внешней среды.

Таким образом, универсальным, не зависящим от типа систем «механизмом, регулирующим устойчивость, является механизм отбора [630], работающий постоянно и учитывающий совокупность изменений, происходящих во внешней среде. Сохраняются только те организационные трансформации, которые увеличивают устойчивость систем к воздействиям внешней среды с учетом ее изменения в каждый конкретный момент времени. Переход в состояние со сниженной устойчивостью является регрессом системы. Согласно общей теории систем Л. фон Берталанфи, существует структурное соответствие или логическая гомология систем, независимо от их специфических особенностей, от природы составляющих их элементов и от действующих между ними сил [630, с. 230]. «Основная идея тектологии заключается в единстве строения и развития самых различных систем независимо от того конкретного материала, из которого они состоят. Это системы любых уровней организации – от атомных и молекулярных до биологических и социальных. А.А. Богданову удалось заложить основы новой синтетической науки, охватывающей все области человеческого знания» [631].

Тектология различает количественную и структурную устойчивость. При прочих равных условиях, система, состоящая из большего числа элементов, будет более устойчивой. Но слова А.В. Суворова «воюют умением, а не числом; от умения происходит согласие» справедливы не только в области военного искусства и, по сути, являются лаконичной формулировкой задачи повышения структурной устойчивости применительно к тактике боевых действий своего времени. Причем не только формулировка, но и успешное решение этой задачи на практике на все времена вписаны в историю России за полтора века до создания всеобщей организационной науки – законы тектологии действовали вне зависимости от того, были они оформлены в виде единой теории или нет.

Как в XVIII в., так и сегодня устойчивость любых систем независимо от их природы определяется не только количеством элементов, но и способом их сочетания, характером их связей. И рост количественных показателей может повысить общую устойчивость системы только тогда, когда не приводит к уменьшению ее структурной устойчивости.

Увеличение количественных показателей человеческого организма (рост, вес) является его целью только на первых этапах существования, когда они повышают способность противостоять внешним воздействиям. В последующем их положительная динамика, как правило, не ведет к повышению качества жизни, а тем более к увеличению ее продолжительности. Более того, в зрелом возрасте наблюдается обратная зависимость между весом и продолжительностью жизни человека. На первое место выхо-

дят качественные показатели, обеспечивающие структурную устойчивость системы человек – внешняя среда (качество образования, умение приобретать профессиональные навыки, необходимые на данном жизненном этапе, коммуникабельность и т.п.).

Увеличение количественных показателей строительного проекта – полезной площади строений в результате роста этажности застройки при прочих равных проектных решениях ведет к снижению устойчивости к сейсмическим воздействиям. При землетрясении малоэтажная застройка получает меньше разрушений.

Существует общая закономерность: чем на более раннем этапе своего развития находится система, чем она менее организована, тем в большей степени для нее характерен рост количественных показателей: динамика количественной устойчивости опережает динамику структурной устойчивости. Если различия в количественной устойчивости двух систем могут сохраняться в самых различных условиях, то различия в структурной устойчивости всегда зависят от конкретных условий внешней среды [630].

## ***1.2. Системный подход как основа достижений отечественной энергетики***

Теперь с точки зрения рассмотренных общих закономерностей проанализируем результаты структурных изменений российской энергетики, проводимых по мере становления отрасли.

Попытки полезного применения электричества были предприняты во второй половине XIX века, а основными направлениями стали недавно изобретённый телеграф, гальванотехника и военная техника (мины с электрическим взрывателем), но первое общественное использование электроэнергии – это освещение. Первый опыт уличного освещения был проведен 11 сентября 1873 г. на ул. Одесская на тогдашней окраине Санкт-Петербурга. В мае 1877 г. электрическое освещение применялось на Avenue de l'Орега в Париже. Но только в 1879 г. первое электрическое освещение появилось на Литейном мосту. Причина столь необычного выбора первого объекта электроосвещения в городе с огромным количеством улиц и проспектов была в высокой прибыльности «Общества газового освещения Санкт-Петербурга», доставляющего газ для уличных фонарей и являвшемся по сути монополистом. Возможности заменить газовое освещение на электрическое на улицах города не было, для города, точнее для системы, выражающей его интересы, электрическое освещение оказалось не нужным, и Ф.А. Пироцкий реализовал проект на улице, которая никому не принадлежала и соответственно не контролировалась этой системой, а обеспечивавшая электроснабжение фонарей Литейного моста электростанция – она же первая в городе, расположи-

лась на барже. А до начала электрического освещения улиц Петербурга прошло более 10 лет.

Задержка на десятилетия практической реализации решений, ведущих к повышению эффективности системы городского освещения, вовсе не была отличительной чертой Санкт-Петербурга и была характерна для многих городов России. Так в 1880-е гг. был заключен договор «Общества электрического освещения 1886 г.» с Московской городской управой, который в отличие от петербургских соглашений не препятствовал присутствию в городе еще одного или нескольких частных предприятий по электрическому освещению. Но при этом по договору город не имел права следить ни за техническим выполнением устройства электрических сетей, ни за тем, насколько ведение дела соответствует условиям договора. На практике это приводило к тому, что «Общество-1886 г.» или вовсе не присоединяло невыгодных для него потребителей, или заставляло ждать присоединения многие месяцы. В 1888 г. этим пыталась воспользоваться известная австрийская фирма «Ганс и К°», предложившая договор об электрическом освещении улиц Москвы «переменными токами высокого напряжения». И тогда «Общество-1886 г.» развило бурную деятельность по компрометации проекта конкурента, научно обосновывая опасность токов напряжением в диапазоне 1000–2000 вольт. В ученых докладах и в газетных статьях система переменного тока обличалась как нечто еретическое, не национальное и, безусловно, губительное; доказывалось, что трансформаторы начисто запрещены во всех порядочных государствах Запада и терпят разве в какой-нибудь Италии, падкой на дешевизну. Несмотря на то что компетентные эксперты доказали вздорность подобных утверждений, проект контракта с австрийцами был «положен под сукно». Ситуация сохранялась более 20 лет и лишь в 1911 г. Мосгордума решилась на проведение конкурса на устройство уличного освещения в тех районах, до которых кабельная сеть «Общества-1886 г.» не доходила. При этом по истечению 8 лет – в 1896 г. «Общество-1886 г.» получило разрешение на строительство Центральной московской электростанции № 1 (МГЭС-1) проектной мощностью 33 000 кВт на Раушской набережной в Замоскворечье, которая вырабатывала переменный трехфазный ток напряжением 2100 В, и создание новой электросети на высоком напряжении. Соответственно требовалась установка всего несколько лет назад так безапелляционно критикуемых понижающих трансформаторов с 2100 на 120 В – напряжения, на котором производилось электроснабжение потребителей [548]. То есть утверждение И. Валлерстайна о том, что «ценности становятся весьма эластичны, когда речь заходит о власти и прибыли» относится не только к политической деятельности, но и к научному обоснованию организационных решений по сугубо техническим вопросам. Манипулирование общественным мнением в той или иной технической области происходит тем более успешно, чем меньше уровень организованности ее потребителей.

Как сообщает журнал *Электричество* № 5 за 1880 г., «22 августа в 12 часов дня в Санкт-Петербурге, на Песках, на углу Болотной улицы и Дегтярного переуллка, г. Пироцким первый раз в России двинут вагон электрической силою, идущей по рельсам, по которым катятся колеса вагона». Впервые в мире были проведены испытания конного экипажа, переделанного на электрическую тягу. Двухъярусный трамвай вместимостью 40 человек перевозил всех желающих. Желая внедрить свои изобретения, Ф.А. Пироцкий проводил встречи с потенциальными инвесторами проекта. Одним из них был К.Ф. Сименс. В результате регулярное трамвайное сообщение впервые было запущено менее чем через год – в мае 1881 г. компанией «Siemens & Halske». Но только на 1800 км западнее Санкт-Петербурга – в пригороде Берлина. А в России к середине 1880-х гг. торговым домом «Сименс и Гальске» осуществлялись работы не только по электрическому освещению Невского проспекта и прилегающих улиц, но и некоторых домов столичной аристократии.

Первый трамвай в России на улицах города появился только через 12 лет, в 1892 г. в Киеве. Решающим фактором стал сложный характер рельефа трамвайного маршрута. Так как лошади не справлялись, необходимость движения по Александровскому (Владимирскому) спуску привела к реализации проекта городского транспорта на электрической тяге. А в Санкт-Петербурге в соответствии с контрактом с владельцами конных железных дорог запрещалось вводить иные виды тяги на существующих или вновь проложенных линиях. Поэтому в 1890-х гг. трамвайное сообщение ограничивалось перевозками по льду Невы. С первых в мире опытов трамвайных перевозок, проведенных в Петербурге в 1880 г., когда на электрическом трамвае мог прокатиться любой желающий до появления трамвая на улицах российской столицы в 1907 г. миновало более четверти века.

Пуск в 1914 г. в 70 км от Москвы «Электропередачи» – самой крупной в мире тепловой электростанции, работающей на местном виде топлива (торфе), был затруднен невозможностью прохождения высоковольтной линии через частные владения. Проблему организации передачи электроэнергии в Подмоскowie удалось решить путем прокладки линии в обход, по землям болотистых неудобий Богородского уезда, что привело к значительному удорожанию проекта. А для Волховской ГЭС организационный вопрос прокладки ЛЭП оказался непреодолимым. Дешевая электроэнергия ГЭС являлась серьёзным вызовом поставкам угля из Силезии и Англии на тепловые электростанции Санкт-Петербурга и была не нужна их владельцам. С 1912 г. проект Волховской ГЭС, выполненный Генрихом Графтио по заказу Управления внутренних водных путей, лежал без движения. Скупка окрестных земель, проведённая после появления информации о проведении проектных работ Волховской ГЭС, сделала невозможной его реализацию.

Можно продолжить приведение примеров, говорящих об общей закономерности. Во многих случаях лимитирующим фактором развития отечественной энергетики конца XIX – начала XX вв. была не технологическая отсталость, не отсутствие инновационных решений, не невозможность их технической реализации. Оставалась нерешенной организационная проблема: сложившаяся практика хозяйствования в определенных случаях не была направлена на получение новых качеств, не достижимых на основе традиционных технологий.

Итогом стало технологическое отставание России в ряде отраслей на несколько десятилетий, несмотря на то, что сами открытия, на которых впоследствии основывался технический прогресс других стран, зачастую были выполнены российскими изобретателями. Но с другой стороны, медали, полученные на международных выставках, свидетельствуют, что качество российской продукции промышленности и ремесел было достаточно высоким; к началу Первой мировой войны Россия могла производить военные корабли всех классов, на что были способны лишь считанные страны; технологический уровень большинства типов вооружений вполне соответствовал зарубежным аналогам; Россия была единственной страной, которая к началу войны имела тяжелую бомбардировочную авиацию, и т.д. Количество отечественных инженеров и качество их подготовки были таковы, что после вступления США в войну в 1917 г. Россия командировала туда своих инженеров для налаживания массового производства вооружений, несмотря на то, что объем производства на душу населения в 1913 г. в России составлял  $\frac{1}{6}$  американского [634].

Возникает вопрос – почему в одних областях у России были признанные странами-лидерами научно-технического прогресса преимущества, а в других происходило отставание. Причем те отрасли, в которых происходило отставание, преимущественно и формировали общее впечатление о просвещенной Европе и отсталой России. Ответ можно получить при рассмотрении проблемы на основе методологии системной экономики. Как законы общей теории систем работали до их открытия А.А. Богдановым и Л. Фон Берталанфи, так и базовые положения системной экономической теории определяли исторический ход развития экономики и ее подсистем до их формулирования Г.Б. Клейнером [466, 632].

В России в 1860-х гг. начались трансформация отношений, устоявшихся на протяжении предыдущих поколений, и проникновение на все уровни общества нового биржевого духа, вытесняющего сформировавшиеся ценности, открылись возможности приращения капитала недостижимо ранее быстрыми темпами. Согласно воспоминаниям Н.Е. Врангеля, к 1890 г. «атмосфера, дух города за эту четверть века изменились до неузнаваемости. Теперь каждый был поглощен своими личными интересами, интересовался исключительно одним своим «я». Урвать кусок тем или иным способом, найти хорошее место, сделать карьеру – все руководились только этим. Общества больше не

было, была шумная ярмарка, куда каждый для продажи нес свой товар» [629]. Если посмотреть на результат происходившего процесса с точки зрения системной экономической теории, то к концу XIX в. налицо опережающее развитие объектной системы в тетраде процесс–проект–объект–среда (далее тетраде). Объектная система получила переразмеренное развитие как на наноуровне – уровне физических лиц и их коллективов [224] и микроуровне – уровне предприятий, так и в ряде случаев на мезоуровне – на уровне отраслей, когда хозяйствующие объекты объединялись и, по сути, представляли собой отдельные отрасли экономики (в частности городские транспорт и городское освещение).

Объекты – это самостоятельно функционирующие системы. В приведенных выше примерах такими объектами на уровне микроэкономики являлись предприятия (системы), обеспечивающие газовое освещение, передвижение конок, а в последствии производство электроэнергии на привозном угле с удельным расходом условного топлива (УРУТ) более 1,5 кг/кВт·ч. Они совершенно рационально осуществляли свою хозяйственную деятельность. Их основными задачами были повышение рентабельности, обеспечение возвратности вложенного в них капитала, сохранение и преумножение рабочих мест фонарщиков, извозчиков, кочегаров, углекопов и т.д. И они их успешно решали, расширяя бизнес и увеличивая количество точек освещения, конных экипажей и т.п. В соответствии с принципом Ле-Шателье они направляли свою активность на сохранение стабильности своей деятельности и минимизацию внешних воздействий. Задача каждой из этих систем состояла в поддержке устойчивости своего функционирования при взаимодействии с окружающей их средой. Помимо наращивания количественных показателей для ее решения требовалось обеспечение структурной устойчивости, а для этого необходимо было минимизировать распространение угрожающих их деятельности альтернативных технологий. Возможности получения качественно новых свойств продуктов, на которые и без этих инноваций был устойчивый спрос, обеспечивающий стабильный финансовый поток на протяжении десятилетий, справедливо воспринималась как угроза их деятельности. Соответственно активность этих систем была направлена на сдерживание распространения угрожающих их экономической деятельности нововведений. С этой целью они успешно координировали свою деятельность и зачастую уровень защиты их интересов переходил с уровня микроэкономики на мезоуровень – уровень отдельных отраслей (общественный городской транспорт, городское освещение и т.д.), а не единичных предприятий. Как правило, потребители в этих отраслях обладали намного более низким уровнем организованности своих интересов.

В результате новые проекты, несмотря на целый ряд преимуществ, которые следовали за развитием энергетики и были бы востребованы потребителями, были не

нужны в производственных отношениях с преобладанием объектной системы. Вот далеко не полный их перечень:

- более яркое по сравнению с газовым электрическое освещение;
- более быстрый, чем на конках (7-8 км/ч «конка, конка, догони цыпленка») способ передвижения;

• более дешевая электроэнергия ГЭС (в конце 1890-х гг. час работы уличного электрического фонаря стоил 16 коп., 1 кВт·ч электроэнергии, произведенной на угольных электростанциях, – 50 коп. [633] или 0,3871 г. чистого золота, или килограмм свинины, или 4 кг квашенной капусты, или полмешка картошки; средняя зарплата рабочего на фабрике составляла 25 р.; в итоге в пересчете на световой поток стоимость освещения керосиновой лампой была в 8 раз ниже, чем электрической [548]).

Для реализации перечисленных проектов порой требовалась смена целого поколения – прохождение времени в 20–25 лет. Необходимым условием их запуска стало участие в этом процессе бюрократического аппарата. Как правило, коррупционная составляющая была обязательным условием достижения положительного результата большинства таких процессов, что приводило к снижению экономических показателей проектов.

Совокупность этих факторов привела к технологическому отставанию России в тех областях экономики, где сформировалась переразмеченная объектная компонента тетрады. Как следствие, в России по состоянию на 1913 г. были самые высокие в Европе тарифы на электроэнергию [548]. Тот факт, что высокие тарифы на электроэнергию «создают большую опасность для всего будущего развития русской промышленности» [381], прекрасно осознавался в научной и промышленной среде начала XX в.

Высокая стоимость электроэнергии вносила коррективы во все области социально-экономических отношений. В 1910-е гг. аренда комнаты с электрическим освещением в центре Москвы на Тверской или в С.-Петербурге на Невском доходила до 15 р. в месяц, тогда как без электричества она стоила на 5 р. дешевле (счетчик устанавливался на всю квартиру) [548]. То есть арендаторы платили на 50% больше за пользование недвижимостью, расположенной в самых престижных местах, при условии возможности электрического освещения. На протяжении десятилетий чрезмерное развитие объектной системы обусловило сдерживание роста потребления электроэнергии вследствие высоких цен на нее и, как результат, обусловило более низкий уровень ее использования по сравнению со странами Европы и Северной Америки. В то же время доля России в начале 1900-х гг. в мировой добыче нефти была самой высокой за все время существования этой отрасли и превышала 50%.

Таким образом, для ряда отраслей национальной экономики стало характерным превалирование объектной компоненты тетрады. Результатом дисбаланса стало замедление в них научно-технического прогресса и последующее отставание в этих



отраслях России по сравнению с другими странами. Эта негативная тенденция в намного меньшей степени относилась к тем областям, где тетрада эволюционировала в более сбалансированном состоянии при равновесном соотношении средовой, процессной, проектной и объектной компонент – к военной отрасли, текстильной, обувной, пищевой промышленности и т.д. Характерной особенностью первой группы отраслей (их примеры рассмотрены выше) является более низкий уровень развития механизмов (а в ряде случаев их полное отсутствие) координации интересов потребителей продукции и услуг этих отраслей по сравнению с координацией интересов выгодополучателей развития таких отраслей.

Нужны были решения для изменения сложившейся ситуации. Требовался подход, обеспечивающий гармонизацию развития различных отраслей экономики, что и было достигнуто Государственным планом электрификации России. Электрификация – это широкое внедрение в производство и быт электрической энергии с целью повышения производительности труда и эффективности производства [181]. Поэтому рост производительности труда был возможен только путем интеграции энергетики с отраслями экономики, где ожидалось качественные изменения.

В период 1923–1931 гг. появились программы электрификации США (разработчик Фран Баум), Германии (Оскар Миллер), Англии (так называемая комиссия Вейера), Франции (инженеры Велем, Дюваль, Лаванши, Мативэ и Моляр), а также Польши, Японии и т.д. Но все они закончились неудачей еще на стадии планирования и технико-экономических разработок [635]. В этих странах производственные отношения, регулируемые «невидимой рукой рынка», оказались несовместимы с тем, что «сущность интеграции сводится к тому, что усиливаются или возникают такие связи, которые направлены на ослабление системных противоречий и на сохранение функциональной целостности системы» [630, с. 260]. План ГОЭЛРО предусматривал соединение и совместное развитие энергетики с различными отраслями экономики, что впоследствии привело к высокому уровню структурной устойчивости советской экономики как единого целого. Поэтому в силу закона отбора основные положения плана не были отторгнуты плановой экономикой в отличие от перечисленных программ электрификации.

«Вот основные принципы плана ГОЭЛРО: электрификация всей страны как основа для создания самых передовых производительных сил; планомерное перевооружение всех отраслей народного хозяйства, культуры и быта на основе их электрификации» [553]. При всей значимости энергетики, ее доля в структуре сметы плана ГОЭЛРО была далеко не доминирующей: на электростанции и электросети предусматривалось 7% от общей суммы капитальных затрат (на транспорт – 47%, обрабатывающую индустрию – 29% и добывающие отрасли – 17%) [180]. Для сравнения: вложения в энергоустановки при создании упомянутого выше «Общества-1886 г.» К.Ф. Сименсом составляли 80%.

К 1896 г. число электростанций в России выросло до 35, все они были частными. Доля «Общества-1886 г.» была весьма весомой. Оно владело 12 электростанциями. Разница соотношений в структуре капитальных вложений предприятия, основной задачей которого является максимизация прибыли, и плана ГОЭЛРО свидетельствует о его направленности не на улучшение экономических показателей отдельных объектов, а на его общеэкономический характер, при котором предусматривались вопросы развития всех важнейших секторов промышленности [635].

Теоретические основы последующего экономического развития были заложены в работах И.Г. Александра и Н.Н. Колосовского, разработавших научные основы концепции энергопроизводственных циклов и территориально-производственных комплексов, В.М. Четыркина, исследовавшего проблемы экономического районирования [636], Н.Н. Некрасова, руководящего разработкой генеральных схем развития и размещения производительных сил СССР на перспективу [637], А.Е. Пробста, разработавшего схему районирования топливно-энергетического комплекса страны и сформулировавшего идеи «концентров» [638], В.С. Немчинова, исследовавшего вопросы строительства промышленных, угольно-металлургических баз и гидроузлов [639, 640], А.Г. Гранберга и К.А. Багриновского, разработавших программы регионального развития, а также крупные регионально-транспортные проекты, А.Г. Аганбегяна, внесшего значительный вклад в разработку первой научно обоснованной концепции состояния и перспектив развития производительных сил Сибири и Дальнего Востока [641, 642].

Энергетика оказывала и оказывает определяющее влияние на внешнюю для нее среду – экономику. Расположение электростанций в значительной степени обуславливает районирование промышленных центров. В свою очередь, центры нагрузок определяют последующее развитие энергетики. Например, мощность ДнепроГЭС с момента ввода в эксплуатацию 10.10.1932 до разрушения 17.08.1941 составляла 310 МВт. За это время было произведено 16 млрд кВт·ч электроэнергии с самой низкой в мире себестоимостью [643], Средний коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) на протяжении 8,84 лет составлял 0,667, число часов использования установленной мощности (ЧЧИМ) 5838 час/год. Это стало решающим фактором развития металлургических и машиностроительных предприятий Донецко-Криворожского промышленного района, которые впоследствии сформировали спрос на строительство более чем на порядок более крупных энергетических мощностей: в 1979 г. началось строительство первой очереди Запорожской АЭС (4000 МВт), а в 1988 г. было решено увеличить ее мощность до 6000 МВт. То есть энергосистема Юга СССР на протяжении десятилетий непосредственно влияла на формирование своей внешней среды – экономики региона [490], которая в свою очередь определяла развитие энергетики.

Таким образом, принцип комплексного развития энергетики [7] стал основой ее взаимосогласованного развития в 1920–1990-х гг. с ее надсистемой – экономикой страны, достигнутого путем сбалансированного функционирования проектных, объектных, средовых и процессных систем. В результате ингрессий между энергетикой и отраслями экономики росла устойчивость экономики как единого организма. Наряду с ростом количественных показателей (производства электроэнергии, промышленной и сельскохозяйственной продукции) повышалась ее структурная устойчивость в части снижения издержек на производство электроэнергии. Снижались удельные показатели: УРУТ на производство электроэнергии, численность производственно-промышленного персонала электростанций, улучшался КИУМ электростанций и как следствие снижались издержки энергоснабжения.

Следует выделить решения, направленные на повышение внутриотраслевой структурной устойчивости, и структурной устойчивости не только энергетики, но и экономики как ее надсистемы. Примерами внутриотраслевых решений являются объединение электростанций на параллельную работу, сглаживание графика нагрузки объединенной энергосистемы, снижение оперативного резерва работы энергосистемы, оптимизации режимов работы разных типов электростанций с учетом пропускной способности сети [7, 644].

Путем повышения структурной устойчивости экономики в контексте рассмотрения развития ее подсистемы энергетики стали как интеграция энергетики по горизонтали – со смежными к производству электроэнергии системами, так и по вертикали – от производства, передачи до потребления электроэнергии.

Примером горизонтальной интеграции является развитие теплофикации (совместной централизованной выработки электричества и тепла). «Для соединения двух комплексов требуется их изменить так, чтобы в них получились общие элементы, соответствующие задаче, для которой служит данный организационный процесс» [626, т. 1, с. 157]. Такие общие элементы, или по-другому «связки» [626] могут иметь как статический, так и динамический характер, обеспечивают ингрессию различающихся ранее не зависимых подсистем. На протяжении десятилетий электро и теплоснабжение развивались независимо. Для изменения ситуации с целью совместной выработки тепла и электроэнергии требовались решения, обеспечивающие их ингрессию.

С 1898 г. в Петербурге по адресу наб. реки Фонтанки, д. 104 работала тепловая электростанция, построенная Бельгийским Анонимным Обществом электрического освещения. В 1924 г. – по истечению более 35 лет функционирования, для перевода ее в теплофикационный режим была выполнена «связка»: проложена теплотрасса к жилому дому по адресу наб. реки Фонтанки, д. 96. И со второй половины 1920-х гг. началось интенсивное развитие теплофикации по всей стране. Важно отметить, что лимитирующим фактором было не отсутствие технических решений по использованию по-

путного тепла, получаемого при производстве электроэнергии. За пять лет до строительства электростанции на набережной Фонтанки, в 1893 г. начала работать первая общественная теплофикационная электростанция в Гамбурге, Германия. В России как первая построенная в 1902 г. блок-станция Политехнического института Санкт-Петербурга, так и последующие проекты комбинированной выработки тепла и электроэнергии (Трехгорная мануфактура, текстильная фабрика Циндаль в Москве и т.д.) ограничивались пределами владения одного собственника [645], что является еще одним подтверждением общей закономерности – снижения порога восприимчивости к достижениям научно-технического прогресса в областях, где превалирует объектная компонента тетрады. Районных электростанций, производящих как электрическую, так и тепловую энергию, не было. В условиях отсутствия координации взаимодействия самостоятельно функционирующих систем электро и теплоснабжения, если они не принадлежали одному собственнику даже при наличии тепловой нагрузки, расположенной вблизи от работающей тепловой электростанции, на территории электростанций создавались самостоятельные источники тепла. Например, с 1898 г. в плотно застроенной части города (т.е. при наличии рядом расположенной тепловой нагрузки) – на набережной Обводного канала, д. 76, работала электростанция «Общества 1886 г.». А в 1913–1915 гг. на ее территории была построена котельная для теплоснабжения близлежащих тепловых потребителей.

Централизованная совместная выработка электричества и тепла была инициирована принципом комплексного развития энергетики и начала реализовываться сразу после его формулировки в плане ГОЭЛРО. Основным критерием работы теплофикационных систем стала экономия топлива [7]. К 1981 г. на теплофикационные электростанции (ТЭЦ) приходилось 64,9 из 181,1 ГВт установленной мощности тепловых электростанций (ТЭС) всей страны (или 35,8 %) [646]. КИУМ ТЭЦ в 1990 г. составил 63% или 5519 час/год [647], что было значительно выше аналогичного показателя конденсационных ТЭС и обеспечивало ежегодную экономию топлива не менее 50 млн т у.т. Механизмом столь высокой эффективности использования установленной мощности ТЭЦ являлся перенос покрытия неравномерности графика спроса на электроэнергию на электростанции, не задействованные в совместном производстве тепла и электроэнергии. Наиболее экономичные электростанции (ТЭЦ, а впоследствии и АЭС) представляли из себя подсистему, которая могла функционировать только при вертикальной интеграции в отрасли: диспетчеризации производимой ими в базовом режиме электроэнергии другими электростанциями, работающими на покрытие пикового спроса на электроэнергию. Так как целью энергетики как системы было повышение эффективности экономики, а не рост экономических показателей отдельных предприятий, это не приводило к удорожанию электроэнергии АЭС и ТЭЦ. При составле-

нии топливно-энергетических балансов предусматривалась приоритетная загрузка ТЭЦ в теплофикационном режиме и АЭС.

Интеграция энергетики по вертикали с отраслями экономики была направлена на повышение структурной устойчивости технологического процесса «производство-потребление ТЭР» как единого целого. При заданной установленной мощности энергосистемы объем производства электроэнергии лимитируется способностью ее потребления совокупностью электротехнических комплексов и систем потребителей. А так как «устойчивость целого зависит от наименьших относительных сопротивлений всех его частей во всякий момент» [626, т. 1, с. 217], задачей стало создание динамических «связок» – организационно-технических и организационно-экономических механизмов изменения технологических процессов у потребителя, направленных на трансформацию графика спроса на электроэнергию с целью сделать его более равномерным – без утренних и вечерних периодов максимумов и ночных провалов.

Согласно ГОСТ 19431-84, потребитель электроэнергии – это предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которого приемники электрической энергии присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию.

Так в наиболее энергоемкой отрасли экономики – черной металлургии были разработаны и в последующем закладывались в проекты металлургических комбинатов решения, обеспечивающие снижение потребления электроэнергии действующего электроемкого оборудования на несколько часов в сутки без ущерба для основного технологического процесса. Это направление получило развитие в 1960–1970-х гг. на Западносибирском металлургическом комбинате и в Сибирском ГИПРОМЕЗе («Государственный институт по проектированию металлургических заводов», Новокузнецк) в содружестве с Украинским ГИПРОМЕЗОМ («Украинский институт по проектированию металлургических заводов», Днепропетровск). В результате металлургические предприятия принимали на себя функции активных регуляторов электропотребления и обеспечивали время использования заявленной мощности в период прохождения максимума нагрузки энергосистем в ряде случаев более 8760 часов в году [23].

Таким образом, основой комплексного развития энергетики являлась координация взаимодействия академических, научно-исследовательских энергетических и отраслевых институтов, а также промышленных предприятий-потребителей электроэнергии. Их согласованная работа была направлена на устранение противоречий, возникающих при интеграции систем производства, передачи и потребления электроэнергии, с последующей реализацией решений, обеспечивающих взаимоувязку развития энергетики со смежными отраслями экономики; носила межотраслевой характер, не ограничиваясь отдельными предприятиями; проводилась на протяжении десятилетий; обеспечивающие ее технологии по мере их устаревания сменялись новыми, более

совершенными, но вектор развития оставался неизменным. В результате реализации решений государственных институтов проектирования отраслей-потребителей электроэнергии повышалась эффективность функционирования смежной отрасли – электроэнергетики.

Отсутствие временных и пространственных границ, ведущая роль науки в решении задачи повышения эффективности энергоснабжения указывают на то, что согласно системной экономике [466], в 1930-х гг. экономика стала представлять из себя сбалансированную тетраду с преобладанием системы средового типа. Поэтому как к 1940 г., так и в последующие десятилетия СССР занимал лидирующие позиции по показателю эффективности использования установленной мощности энергосистемы. На протяжении 1950–1980 гг. КИУМ находился на уровне 0,548 – более 4800 час/год. То есть первоочередной задачей являлось обеспечение структурной устойчивости надсистемы – всей экономики в части надежности энергоснабжения. Структурная устойчивость является комплексным показателем, не сводимым только к КИУМ энергосистемы. На её рост указывает долгосрочное снижение УРУТ на производство электроэнергии, самообеспеченность системы собственной научно-технической и промышленной базой (это и отечественные научные школы, и отраслевые НИИ, и проектные институты, и энергомашиностроение). Список может быть расширен, но едва ли он станет исчерпывающим. Ключевым фактом является то, что результатом ингрессий, как базовой идеи определения энергетики [553] стала гармонизация тетрады с преобладанием роли средовой компоненты и достижение общесистемной эффективности путем развития всех звеньев единого технологического процесса «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР)», т.е. энергетики во взаимосвязи с другими отраслями экономики. Поэтому электроэнергетика обеспечивала потребности экономики в электроэнергии с минимальными издержками. Несмотря на то, что многие задачи в области роста эффективности энергоснабжения были решены не в полной мере, интегральным результатом последовательной реализации принципа комплексного развития энергетики стал высокий запас структурной устойчивости экономики и энергетики как ее подсистемы.

Отрасль продолжала функционировать без системных аварий в условиях широкого диапазона воздействий внешней среды 1990-х гг., значительно отличавшихся от изначальных, проектных значений. Вот далеко неполный перечень нерасчетных воздействий этого десятилетия:

- внеплановое снижение потребления электроэнергии в первую очередь промышленными предприятиями, обеспечивающими базовую нагрузку;
- сокращение доли оплаты за электроэнергию «живыми деньгами» в среднем на 80%, а в некоторые периоды в ряде регионов на 90% и более;
- минимизация объема ремонтных работ;

- существенный отток из отрасли квалифицированных кадров;
- многочисленные хищения и последующая реализация цветного металла линий электропередач и трансформаторных подстанций;
- завладение контрольными пакетами акций с целью реперофилирования либо полной остановки деятельности научно-исследовательских, проектных и иных предприятий, ведущих наиболее инновационные и конкурентоспособные разработки, реализация которых в перспективе вела бы к сокращению рынка продажи импортных аналогов и т.д.

Десятилетие 1990-х гг. показало, что ключевым параметром, благодаря которому осуществлялось надежное энергоснабжение экономики, был сформировавшийся на протяжении предшествующих десятилетий высокий уровень структурной устойчивости энергетики. Энергоснабжение без системных аварий явилось одним из главных условий обеспечения качества жизни людей и социальной стабильности в стране, а факторы и предпосылки, формирующие экономическую устойчивость энергетических систем, стали определять и энергетическую безопасность, которая представляется важнейшим атрибутом, устанавливающим возможности устойчивого социально-экономического развития в окружающем ее мире. Экономическая устойчивость энергетических систем формирует энергетическую безопасность как состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения [648].

Для обеспечения экономического развития людям нужна не просто энергия, а дешёвая энергия. В 1980-х гг. и в 2009 г. доля затрат на энергетические ресурсы в мировом ВВП превысила 10%, что в обоих случаях стало причиной экономических кризисов. Структура современного общества и его экономики не в состоянии выдержать высокие цены на энергию. По имеющимся статистическим данным можно говорить, что это пороговое значение составляет примерно 10% мирового валового продукта [622]. То есть сегодня повышение издержек энергоснабжения – это снижение структурной устойчивости экономики.

На протяжении всего периода становления и развития электроэнергетики рост потребления электроэнергии опережал динамику потребления других видов энергоресурсов. Эта закономерность сохранится и на ближайшие десятилетия: согласно базовому прогнозу МЭА, рост потребления электроэнергии составит к 2040 г. 60% от сегодняшнего уровня [663]. Как показывает опыт стран с сформировавшимися рыночными отношениями, наиболее значимым показателем структурной устойчивости энергетики является поддержание цен на электроэнергию на уровне, не приводящем к замедлению темпов социально-экономического развития. В силу закона отбора стабильно работающая система не может не обладать структурной устойчивостью. В электроэнергетике стран с устоявшимися рыночными отношениями сформировался организационно-

экономический механизм, обеспечивающий неизменность стоимости электроэнергии – энергоресурса, доля которого в топливно-энергетическом балансе постоянно увеличивается (рис. 1.1).



**Рис. 1.1 Организационно-экономический механизм стабилизации эффективности использования энергетических мощностей**

Рост спроса на электроэнергию приводит к спросу на строительство новых энергетических мощностей. При согласованном протекании этих процессов эффективность использования как существующих, так и новых энергетических мощностей поддерживается на постоянном уровне. Но при опережении роста мощности энергосистемы по сравнению с динамикой спроса на электроэнергию происходит снижение КИУМ всей энергосистемы. А это изменение удельных показателей функционирования электроэнергетики: повышение УРУТ на производство электроэнергии, рост капитальной составляющей в структуре цены произведенной электроэнергии, увеличение удельной численности персонала в отрасли и соответственно рост заработной платы на каждый кВт·ч произведенной электроэнергии. В итоге – это повышение стоимости электроэнергии. В условиях сбалансированного соотношения средовой, процессной, проектной и объектной систем при увеличении стоимости электроэнергии начинают действовать отрицательные обратные связи, направленные на прекращение этой тенденции. Визуализировать функционирование этого механизма можно на фазовой плоскости в координатах ежегодного изменения мощности энергосистемы – КИУМ энергосистемы, где в соответствии с законами эволюционной динамики происходит формирование циклов, вращающихся против часовой стрелки. Этот организационно-экономический механизм успешно функционирует на протяжении десятилетий в странах с установившимися рыночными отношениями, являясь отражением сбалансиро-



ванности частей тетрады, поддерживает структурную устойчивость электроэнергетики путем стабилизации КИУМ энергосистемы в достаточно узком интервале. В результате, например, в США цена электроэнергии для промышленных предприятий изменяется в узком диапазоне 6–8 центов/кВт·ч в сегодняшних приведенных ценах на протяжении полувека (с 1970-х гг.), несмотря на целый ряд прошедших в этот период экономических кризисов [449].

То есть в соответствии с законами тектологии механизмы отбора обеспечили возможность сохранения стабильных цен на электроэнергию в странах с устоявшимися рыночными отношениями как необходимое условие поддержания структурной устойчивости их экономики в широком диапазоне воздействий (в том числе экономических кризисов) внешней среды.

Поэтому результаты завершившегося в 2008 г. процесса реформы электроэнергетики в России следует рассматривать с позиции успешности функционирования механизмов отбора в части обеспечения структурной устойчивости российской экономики. Реформа обладала характерными для процессной системы чертами: высокой значимостью политической составляющей при принятии решений («Ты, Иван, мне свою науку не толкай, а определись – ты за красных или за белых?»<sup>1</sup>), отсутствием пространственных ограничений, четким фиксированием временных интервалов [466].

Уже сама постановка задачи – реформирование только электроэнергетики, при котором не предполагалось решение вопросов развития теплоснабжения – это дезинпрессия, результатом которой является раздельное рассмотрение проблем обеспечения теплом и электроэнергией. В итоге системы электро и теплоснабжения стали развиваться самостоятельно. Потребители тепла, находящиеся в зоне теплоснабжения ТЭЦ, с целью снижения своих издержек начали строительство собственных котельных, что вызвало ухудшение производственных показателей ТЭЦ [247]. По мере выбытия потребителей тепла на ТЭЦ начался рост УРУТ на производство электроэнергии в результате увеличения доли электроэнергии, произведенной в конденсационном режиме [649].

В результате при разработке планов текущей хозяйственной деятельности различия проявляются уже на этапе определения субъекта заказчика, формирующего техническое задание и все последующее выполнение работ. Законодательно утверждено независимое составление и реализация Схем и программ развития электроэнергетики *регионов* и Схем теплоснабжения *городов*, т.е. на разных уровнях вертикали государственного управления. Соответственно при модернизации любого теплоисточника в случае перевода его в режим совместного производства тепла и электроэнергии требуются дополнительные процессы согласования организационных решений независимых друг от друга регионального и муниципального уровней власти.

---

<sup>1</sup> Иван Грачев о том, почему Заинская ГРЭС не попала в перечень проектов модернизации и что надо отстаивать Татарстану в Москве // БИЗНЕС Online. 2019. 1 июня. URL: <https://www.business-gazeta.ru/blog/426612> (дата обращения: 18.06.2020).

Результатом процесса реформы электроэнергетики стало отделение электросетей и диспетчерских услуг от деятельности по производству и продаже электроэнергии. Региональные электросети, ТГК, ОГК, сбытовые компании и т.д. стали самостоятельными объектами. Энергетика приобрела признаки гипертрофированности объектной системы.

Для объектов характерны локализация в пространстве и неограниченное во времени функционирование. Принятие решений в ежедневной экономической деятельности объектов основывается на хозяйственной практике [466].

В соответствии с общим законом, что на начальном этапе вновь образовавшаяся любая система повышает свою устойчивость за счет увеличения количественных показателей, первое десятилетие после завершения процесса реформы стало периодом наращивания количественных показателей. Началась реализация множества энергетических проектов, заказчиками которых были вновь образовавшиеся объекты. Поэтому проводились модернизация существующих электростанций с увеличением их мощности, строительство новых, аналогичных действующим крупным энергоблоков и реконструкция сетей преимущественно высокого напряжения. С точки зрения системной экономической теории – это проектная система. Для нее характерны дискретные действия по формированию и реализации конкретных адресных решений, четкая локализация каждого проекта во времени и пространстве [466].

По мере завершения проектов количественные показатели новых систем, в частности сетевых и генерирующих компаний, значительно увеличивались. Например, в ОАО «Тюльские городские электрические сети» в 2010–2015 гг. количество и мощность трансформаторов выросли на 13% [428], но полезный отпуск электроэнергии за это время остался с точностью до 1% неизменным в объеме 1 млрд кВт·ч/год.

«С 2011 по 2018 г. по заявкам потребителей построили, сетевую инфраструктуру для максимальной мощности в 88 ГВт, при этом фактическая потребляемая мощность приросла лишь на 8 ГВт. Получается, 90% построенных мощностей не используется» [664].

При этом, несмотря на рост количественных показателей электросетевой инфраструктуры, в ряде регионов произошло увеличение потерь при передаче электроэнергии. Так если в Тюменьэнерго, Белгородэнерго, Кузбассэнерго они не превышают 7%, то в Мариэнерго составляют 20,6%, Костромаэнерго – 22,4%, Псковэнерго – 23,4%, Бурятэнерго – 23,6%, Дальэнерго – 24,6%, Дагестанэнерго – 29,8%, Калмэнерго – 33,6%. При этом сформировалась закономерность: чем ниже доля промышленного потребления, тем выше относительные потери. Если в регионах лидерах по эффективности использования произведенной электроэнергии доля промышленного потребления превышает 70%, то в Дагестане составляет 8,5%, в Калмыкии – 5,5%. Доля потерь в сетях 0,4–10 кВ составляет 60% суммарных потерь электроэнергии в стране. Учитывая, что по

объективным причинам загрузка электрических сетей 0,4 кВ будет увеличиваться в связи с опережающим ростом бытового потребления электроэнергии, доля потерь в распределительных сетях в ближайшие годы также будет расти [605].

Непосредственное влияние этого факта на социально-экономическое развитие регионов заключается в формировании механизма с положительной обратной связью: по мере снижения промышленного производства происходит рост потерь электроэнергии и соответственно растут издержки энергоснабжения и стоимость электроэнергии, что в первую очередь отражается на ее ценах для потребителей с нерегулируемыми государством тарифами на электроэнергию – для промышленных, сельскохозяйственных и иных потребителей. То есть создаются условия, при которых развитие промышленного и сельскохозяйственного производства оказывается предпочтительным в регионах с меньшим уровнем потерь и соответственно более низкими издержками энергоснабжения. А регионы-аутсайдеры, где уровень деиндустриализации оказался более высоким, становятся все менее привлекательными для развития бизнеса и, как следствие, продолжают сокращать любые виды производства. Причиной этой тенденции является наличие возможности финансировать развитие электросетевой инфраструктуры сетевыми объектами, расположенными в регионах, где сохраняется объем промышленного производства, и снижение такой возможности (а в ряде случаев и полное ее отсутствие) в регионах, для которых по тем или иным причинам характерна деиндустриализация. Другими словами, следствием превалирования объектной тетрады в электросетевом комплексе является снижение структурной устойчивости экономики российских регионов. В этих условиях результатом капитальных вложений в электросети далеко не всегда является повышение эффективности экономики как системы.

Данный вывод справедлив и в отношении увеличения установленной мощности энергосистемы. За десятилетие (2008–2017 гг.), прошедшее после завершения реформы, было введено в эксплуатацию 39,8 ГВт новых энергетических мощностей, в том числе ТЭС – 30,6 ГВт. Но потребление электроэнергии до уровня 1990 г. (1073,839 млрд кВтч) в России восстановилось только в 2016 г. и в настоящее время (1108,134 млрд кВтч в 2018 г.) с точностью до 3% соответствует этому значению. В итоге КИУМ энергосистемы снизился до 0,468 или 4100 час/год. Закономерным результатом снижения эффективности использования энергетических мощностей стала негативная динамика удельных показателей функционирования энергетики, приводящая к повышению издержек энергоснабжения. Рост стоимости электроэнергии для предприятий и населения в 2008–2017 гг. опередил инфляцию в 1,6 и 1,3 раза [476]. Другими словами, объем электропотребления в России лимитируется не технологическими возможностями энергосистемы, а ценами на электроэнергию. При этом механизмы, обеспечивающие увеличение потребления в периоды вынужденной разгрузки энергоблоков, способствуют снижению удельных издержек ее производства.

Проявление повышения количественной устойчивости энергетики – это увеличение занятых в электроэнергетике, рост установленной мощности электростанций и чрезмерное развитие сетевой инфраструктуры, опережающие спрос на электроэнергию. Несбалансированность тетрады, гипертрофированное развитие объектной и на относительно коротком интервале (2008–2017 гг.) проектной систем при второстепенном значении процессной и средовой привело к исчезновению возможности для энергосистемы управления потреблением и повышению спроса на пиковые источники энергии. Уровень организованности потребителей недостаточен для инициации процессов лоббирования своих интересов в структурах государственной власти. Тектология характеризует данное явление как переход к функционированию в суженной среде в результате снижения структурной устойчивости системы. Приспособление к суженной среде само по себе должно рассматриваться как регресс, потому что ведет к ограничению организационных возможностей [630, с. 227].

В полном соответствии с положением, что «чем значительнее начальное различие комплексов системы, тем быстрее должно идти их дальнейшее расхождение, а, следовательно, и развитие противоречий, дезингрессий между ними, тяготеющее к разрыву их связей» [626, т. 2, с. 29], в результате реформы, помимо разрыва организационных, наметилось расхождение технологических связей в системе энергоснабжения. Потребители как самостоятельные системы с целью улучшения своих экономических показателей и снижения издержек стали устанавливать собственную генерацию и выделять из состава своих электротехнических комплексов постоянную электрическую нагрузку, переводя её в автономный режим энергоснабжения от своих собственных новых мощностей. Результатом является снижение потребления из электросети, что приводит к дальнейшему росту сетевых потерь и уменьшению доли базовой нагрузки, а это в свою очередь – повышение неравномерности графика оставшегося потребления, т.е. снижение пластичности энергосистемы. В итоге в дополнение к снижению доли потребления промышленности и роста коммунально-бытовой нагрузки 1990–2020 гг. растущая стоимость электроэнергии катализирует дальнейший рост спроса на наименее экономичные пиковые источники.

В итоге сформировался еще один механизм с положительной обратной связью, обуславливающий дальнейшее снижение структурной устойчивости отрасли: рост цен на электроэнергию в первую очередь для нерегулируемых государством категорий потребителей – минимизация издержек на энергоснабжение потребителями теми способами, которые им доступны при сегодняшнем уровне координации технологической цепочки «производство-потребление ТЭР» (энергосбережение; создание собственной генерации как электрической, так и тепловой энергии; повышение эффективности использования своих источников) – дальнейший рост издержек энергоснабжения в результате работы энергосистемы в менее экономичных режимах. Фактически происхо-

дит самоорганизация послереформенной электроэнергетики в направлении роста неравномерности спроса на электроэнергию и соответственно ее стоимости.

Таким образом, результат процесса реформы отрасли – это проведение ряда дезингрессий для появления самостоятельно действующих объектов, ориентированных на достижение наилучших показателей своей хозяйственной деятельности. По сути это и есть успешно реализованная изначальная цель реформы. Но из достижения множества локальных оптимумов вовсе не следует переход системы как единого целого к оптимальному функционированию. Итог – гипертрофированное развитие объектной экономики, рост количественных показателей энергетических компаний при практически неизменном объеме потребления электроэнергии, который привел к ухудшению удельных показателей и, как следствие, увеличению стоимости энергоснабжения. Отсутствие механизмов отбора, обеспечивающих структурную устойчивость, как следствие, отрицательная ее динамика, причем не только на мезоуровне – в энергетике, но и на макроуровне – на уровне национальной экономики. Это и является мыслью, объединяющей работы [187, 215, 247, 349, 383, 405, 524, 618–620, 648, 649 и др.].

Можно дополнить полученный вывод следующим замечанием. Вновь образовавшиеся объекты – это самостоятельные системы, характер деятельности которых во многом идентичен характеру деятельности систем, функционирующих в начале XX в. Несмотря на то, что общественные отношения никогда в точности не воспроизводят себя по мере исторического развития, также как и согласно закону Долло организм не может вернуться к предшествующему состоянию, даже если окажется в практически тождественных условиях [68]. Следует отметить целый ряд общих закономерностей, которые были выявлены при анализе происходивших событий на основе инструментария системной экономической теории.

1. Атмосфера трансформации 1890-х гг. ранее устоявшихся в России на протяжении нескольких поколений общественных отношений во многом аналогична изменениям взаимоотношений конца 1990-х – начала 2000-х гг.

2. Как и 110–150 лет назад выполненные в России разработки нередко оказываются в ней не востребованными и реализуются за ее пределами в отличие от 1930–1980 гг., когда уровень сбалансированности всех частей тетрады был значительно выше (в наркомат обороны из действующей армии в 1944 г. поступило свыше 100 тыс. технических предложений (71% внедрен) [68, с. 69]). В обоих случаях следствием является технологическое отставание в отраслях с превалированием объектной системы. При этом в областях, где тетрада находится в более сбалансированном состоянии, уровень достижений, как правило, выше и зачастую превышает наилучшие мировые показатели.

3. На протяжении обоих исторических периодов в условиях переразмеренного развития объектной системы каждый новый образовавшийся объект, являясь самосто-

ятельной системой, действует в направлении максимизации результатов текущей хозяйственной деятельности, что далеко не всегда повышает уровень структурной устойчивости экономики.

4. Для проведения процессов согласования интересов самостоятельно действующих объектов существует не меньшая, чем и в начале XX в. необходимость в наращивании бюрократического аппарата. Как следствие, растет актуальность вопроса борьбы с коррупцией.

5. Электроэнергия – базовый товар, без которого невозможно повышение производительности труда, особенно для промышленных потребителей, и обеспечение структурной устойчивости экономики. Ее стоимость сегодня в России, как и 110 лет назад достаточно высока, особенно для предприятий, начинающих экономическую деятельность (тариф для «прочих потребителей» в совокупности с затратами на выполнение технических условий по подключению к электросетям) и не имеющих ресурса для лоббирования низких тарифов.

6. Как и в конце XIX – начале XX вв., так и XXI в. с точностью до изменения покупательной способности рубля справедливо следующее утверждение. «В настоящее время отрасль в финансовом отношении процветает, и энергокомпаниям ничего менять не хочется, так как сегодня в электроэнергетику перекачиваются из реального сектора экономики сотни миллиардов рублей и отказываться от таких денег энергокомпании не согласны. Они для этого пролоббировали принятие соответствующей нормативно-правовой базы в условиях, когда потребители оказались не организованы для защиты своих интересов, а государство как нормативно-правовой регулятор отношений в обороте электроэнергии и ценовой политике не смогло обеспечить баланс экономических интересов, тем самым запустив энергетический тормоз развития экономики» [620].

В конце 1910-х гг. превалирование объектной экономики завершилось. И начиная с середины 1920-х гг. в отрасли начался переход на качественно новый уровень по сравнению с тем, в котором она функционировала в предыдущие десятилетия, по плану ГОЭЛРО, разработанному государством и под его контролем. Без этого перехода не только экономическое развитие России, но и само ее существование после 1941 г. было бы невозможным. Поэтому есть все основания для утверждения о бесперспективности ожидания самоорганизации отрасли в направлении повышения структурной устойчивости. То есть необходимо вмешательство государства и корректировка действующей концепции развития энергетики.

### ***1.3. Рост экологичности и трансформация энергетики развитых стран в XXI в.***

Утверждение о необходимости корректировки государством основополагающих принципов развития энергетики находится в полном соответствии с практикой последних десятилетий развития энергоснабжения в странах с развитой рыночной экономикой. В 1992 г. в Рио-де-Жанейро была принята концепция, изменившая вектор научно-технического развития в направлении сокращения негативного влияния на окружающую среду. Применительно к энергетике задача снижения потребления ископаемых ресурсов и сокращения выброса парниковых газов определила концентрацию усилий в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Фактически в мире началось усиление средовой компоненты тетрады, отличительными свойствами которой являются ведущая роль науки, отсутствие временных и пространственных границ (в том числе национальных) с целью снижения негативного антропогенного воздействия в результате перехода на ВИЭ. Расширение средовой экономики на все большую часть экономики стало одной из составных частей глобальной энергоэкологической стратегии устойчивого развития [657]. В 1990-е гг. отношение стоимости производства электроэнергии ветровых энергоустановок и традиционной энергетикой было сопоставимо с 8-кратным различием в стоимости электрического и керосинового освещения в начале XX в., а стоимость электроэнергии солнечных панелей превышала стоимость традиционной энергетикой на 2 порядка. Прогресс в развитии технологий производства фотоэлектрических преобразователей привел к снижению стоимости вырабатываемой ими энергии с 1980 г. по настоящее время почти в 100 раз, а стоимости электроэнергии ветроустановок – в 10–15 раз. В ряде стран была сформирована совокупность экономических механизмов, распределяющая издержки по развитию ВИЭ на всех потребителей электроэнергии, что обеспечило поддержку темпов прироста возобновляемых источников порядка 20%/год на протяжении более четверти века при неизменном улучшении их экономических показателей [560].

Стоимость электроэнергии наиболее удачных проектов ВИЭ, например, в США снизилась для солнечных электростанций (СЭС) до значений менее 2,5 цента/кВт·ч (2,175 цента/кВт·ч в штате Айдахо, 2,375 цента/кВт·ч в штате Невада, 2,49 цента/кВт·ч в штатах Аризона и Техас [650]), для ветровых (ВЭС) – до 2 центов/кВт·ч [560]. Столь высокие экономические показатели уже не предполагают получение дотаций на реализацию проектов. Как было отмечено в 2016 г. на Международном экономическом форуме, несубсидируемая энергия ВИЭ стала дешевле энергии, получаемой на основе ископаемых видов топлив в 30 странах, а к 2025 г. такая ситуация будет характерна для большинства стран мира. К 2021 г. стоимость энергии возобновляемых источников будет ниже угольной генерации в Китае, Индии, Мексике,

Великобритании и Бразилии [530]. Начиная с 2015 г. в мире начали вводить в эксплуатацию больше гигаватт чистой энергии, чем станций на ископаемом топливе. В 2019 г. стоимость электроэнергии 74% всех угольных электростанций в США оказалась более дорогой по сравнению с генерацией ВИЭ, расположенных в пределах 56 километровой зоны вблизи этих ТЭС. Прогнозируется, что эта доля к 2025 г. увеличится до 86% [651]. В апреле 2020 г. в США впервые доля электроэнергии ВИЭ (23%) превысила долю угольных электростанций. Эффект масштаба – снижение издержек строительства, присоединения к сетям и последующей эксплуатации электростанций по мере роста их установленной мощности в первые десятилетия определял вектор развития ВИЭ в направлении создания крупных ВЭС и СЭС. Но также как и в тепловой энергетике конца XX века, где произошло снижение удельных показателей строительства небольших энергоблоков, в возобновляемой энергетике в последние годы началось опережающее развитие малых станций. В итоге в некоторых странах темпы прироста мощности десятков тысяч индивидуальных источников стали выше аналогичных показателей крупных проектов: в Австралии годовой прирост мощности солнечной энергетике 2017–2018 гг. для крупных источников составил 45%, а для индивидуальных – более 130% [534]. Солнечная и ветровая энергетика, перестав быть «забавой для богатых», без дополнительного стимулирования не только достигает сетевого паритета, но и производит электроэнергию по ценам более низким по сравнению с традиционной энергетикой.

Можно дополнить приведенный выше перечень имеющих ряд сходств процессов, происходящих в России и разделенных 110–120 летним интервалом, еще одним феноменом, характерным не только для России, но и для других стран. Как в XX в. в разы более дешевое освещение керосиновых ламп было вытеснено электроосвещением, так по истечению указанного временного интервала происходит замещение производства электроэнергии традиционной энергетикой возобновляемыми источниками.

В 1823 г. впервые в мире крепостные крестьяне братья Дубинины построили нефтеперегонный куб на Северном Кавказе для получения белой нефти [137]. На протяжении почти 100 лет новая отрасль развивалась, совершенствовались способы получения керосина, осваивались новые технологии, улучшались эксплуатационные характеристики приборов, использующих керосин (в 1853 г. во Львове была разработана получившая распространение во всем мире керосиновая лампа с плоским фитилем). Результатом было повышение качества продукта, снижение издержек производства. Развитие логистики и формирование новых рынков обеспечили стабильный рост производства на протяжении почти 100 летнего периода. Но в начале XX в. электрическое освещение, а также бензиновые двигатели внутреннего сгорания в значительной степени вытеснили его производство на мировом рынке нефтепродуктов. Увеличение объемов производства керосина началось после 25–30-летнего спада после 1950-х гг. в



новом качестве (авиакеросин для авиации). На протяжении без малого 200 лет промышленного производства у керосина устойчиво сохраняются такие области использования как народная медицина («ревматизм и прочие хвори»); растворитель; освещение, пищеприготовление, обогрев в условиях отсутствия других энергоносителей. Можно сделать предположение, что эволюция использования угля и углеводородов для энергоснабжения будет иметь хоть и отличный, но во многом сходный сценарий, чему является подтверждением сокращение использования угля в энергетике США, Канады и западноевропейских стран, банкротство четвертой по объему добычи угля в США американской угольной компании Murray Energy (объем добычи 30 млн т угля в год) и т.д. То есть при сохранении таких областей использования как угле-, нефте- и газохимия, получение моторных топлив, кокса и т.д. в значительной степени произойдет замещение ископаемых видов топлива на энергию солнца и ветра.

В этой связи следует отметить следующий психологический аспект. Для большинства населения в начале XX в. «привычный приятный, уютный, желтоватый свет» керосиновой лампы [548] был связан положительными ассоциациями с предшествующими десятилетиями домашней семейной атмосферы. Электроосвещению предстояло разрушить эти устоявшиеся ассоциативные связи. А вот традиционная энергетика у большинства ассоциируется с выбросами дымовых труб, с шлейфом пара над градирнями, с цветением прудов-охладителей и водохранилищ ГЭС, с затопленной Мологой вместе с 4500 км<sup>2</sup> лесов и сельскохозяйственных угодий с целью годового производства менее 1 млрд кВт·ч, с постепенным исчезновением осетровых рыб, с разливами нефти и нефтепродуктов, с дымящимися террикониками и с прочими сопутствующими явлениями ее функционирования. В то же время средствами массовой информации на протяжении десятилетий формируются положительные ассоциации относительно развития ВИЭ в соответствии с принятой в 1992 г. глобальной энергоэкологической концепцией [657]. То есть переход на более экологичную возобновляемую энергетику – это намного более психологически комфортная трансформация по сравнению с произошедшим в прошлом веке переходом на электроосвещение.

Затронув вопрос предпочтений традиционной гидроэнергетики и ВИЭ, проведем сравнительный анализ эффективности использования территории для выработки электроэнергии на основе ГЭС, СЭС и ВЭС. Оказывается, что с точки зрения производства электроэнергии использование территории для строительства ВЭС в 5–6 раз более эффективно по сравнению с размещением на ней водохранилища ГЭС (табл. 1.1). Объем производства электроэнергии, который можно получить на одинаковой площади, на ГЭС и СЭС отличается более чем на порядок. Только стечение уникальных природных факторов в горных районах позволяет обеспечить гидроэнергетике сопоставимый с СЭС показатель производства электроэнергии на единицу площади. Одним из таких уникальных мест является ГЭС «Три ущелья».

Таблица 1.1

**Сравнение объемов производства электроэнергии на единицу площади, выведенной из экономического оборота под СЭС, ВЭС и водохранилищ ГЭС**

Название электростанции (годы строительства)	Годовой объем производства электроэнергии, млн кВтч	Площадь, недоступная для экономического использования, км <sup>2</sup>	Удельное производство электроэнергии на площади, выведенной из экономического оборота, кВтч/м <sup>2</sup> в год
Рыбинская ГЭС (1935–1950 гг.)	935	4550	0,21
Волгоградская ГЭС (1950–1962 гг.)	11 500	3117	3,69
Братская ГЭС (1954–1966 гг.)	22 600	5480	4,12
Бурейская ГЭС (1978–2007 гг.)	7100	750	9,67
Три ущелья ГЭС, Китай (1992–2012 гг.)	98 800	1045	94,5
Перовская СЭС в Крыму (2011 г.)	132,5	2,1	63,1
Copper Mountain Solar Facility СЭС, США (2016 г.)	1291	16,2	79,7
Адыгейская ВЭС (2019 г.)	354 (план)	16,4	21,6
Shepherds Flat ВЭС, США (2009 г.)	1740	78	22,3
Оффшорные ВЭС		незначительна	высокое

Достаточно распространенным является утверждение, что развитие солнечных электростанций – это вытеснение значительных территорий из хозяйственного оборота. Для того чтобы показать, что используемые сегодня для производства электроэнергии площади используются не очень эффективно, рассмотрим возможность замены генерации Рыбинской ГЭС на солнечные электростанции, занимающие аналогичную территорию, но в более солнцеемких регионах – в Забайкалье или на юге Европейской части России. Потенциал такого проекта – более чем 300-х кратное увеличение производства электроэнергии (с 0,21 до 63–79 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год (табл. 1.1) и, соответственно, с менее чем 0,1 до 25% от объема производства электроэнергии). То есть размещение СЭС в южных регионах Европейской части России и (или) в Забайкалье на площади, эквивалентной площади Рыбинского водохранилища, и постепенное восстановление на его территории в далеко не энергодефицитных Тверской, Ярославской и Вологодской областях лесного покрова – это предмет более детального исследования. Отметим, что среди сегодняшних участников объектной экономики едва ли можно указать предприятие, способное без государственной поддержки реализовать столь масштабную задачу: повысить эффективность использования территории в части производства электроэнергии на 2,5 порядка путем выработки и передачи электроэнергии СЭС суммарной площадью 4550 км<sup>2</sup> в наиболее солнцеемких регионах (а это возможность производства  $\Sigma$  280 млрд кВт·ч электроэнергии, или 25% текущего потребления электроэнергии в стране – кратно больше, чем объем предполагаемого производства солнечной энергетики согласно [571] до 2035 г.); согласовать интересы оппонентов и заинтересованных сторон, а впоследствии помимо результатов генерации

солнечной электроэнергии на протяжении десятилетий фиксировать дивиденды от связывания новыми лесами до 5 млн т парниковых газов в год на протяжении как минимум 60 лет. (Из расчета 750 м<sup>3</sup> древесины на 1 га леса: на 0,455 млн га, возможных для воссоздания леса за 50–60 лет на территории Рыбинского водохранилища, выращивание 340 млн м<sup>3</sup> древесины приведет к связыванию  $\Sigma$  85 млн т углерода или утилизации  $\Sigma$  310 млн т CO<sub>2</sub>. При цене 27 евро/т CO<sub>2</sub> по состоянию на 02.09.2020 и производстве 280 млн МВт·ч в год – это снижение стоимости производимой электроэнергии СЭС на 0,5 евро/МВт·ч на протяжении более 60 лет).

Уже сегодня результатом опережающего развития ВИЭ является смещение вектора развития нефтяной, газовой и угольной отраслей. Добывающая промышленность в мире начала трансформироваться в направлении использования ископаемых природных ресурсов в качестве ценных источников химического сырья. В 2014 г. появилась инициатива RE100 – это движение корпоративного сектора за 100% использование ВИЭ. К нему подключаются крупные корпорации, которые планируют перейти на возобновляемую энергетику к конкретному году. Например, IKEA, Apple, BMW, Colruyt Group, Google, LEGO group, Tata Motors и другие торговые и финансовые организации. Постепенно расширяется список территорий, где обсуждается возможность полного отказа от использования ископаемых природных ресурсов в качестве топлива и перехода на возобновляемые источники. Причем это происходит не только в странах с высокой долей импорта угля, нефти или газа, но и в государствах с хорошей обеспеченностью природными ресурсами. Так, в США принято решение о полном переходе на ВИЭ не позднее 2050 г. в штатах Калифорния, Нью-Мексико, Гавайи. Этот вопрос рассматривается в Миннесоте, Висконсине, Иллинойсе и Нью-Йорке [606]. То есть на этих территориях в ближайшей перспективе предполагается выделение из системы «энергетика» традиционных топливоснабжающих отраслей и дальнейшее построение энергоснабжения без взаимосвязи с ними. Аналогичная тенденция наблюдается и с использованием моторного топлива. Происходит вытеснение двигателей внутреннего сгорания электрическим приводом. Лидером этого процесса является Норвегия – страна с наилучшей обеспеченностью углеводородами в Европе и их экспортер.

ВИЭ преимущественно развиваются в высокоразвитых странах, где возможности менее капиталоемких решений снижения потребления топлива (таких как когенерация) в значительной степени израсходованы. Данный факт подтверждает сопоставление вышедшей на насыщение динамики потребления наиболее экологически чистого энергоносителя – природного газа и стремительного развития ВИЭ в странах-лидерах развития возобновляемой энергетики, где климатические особенности формируют спрос на когенерацию. Например, в Дании массовое развитие ВИЭ началось после того, как доля ТЭЦ в производстве тепла изменилась с 40% в 1980 г. до 60% в

1990 г. (рост в 1,5 раза за 10 лет) и происходило наряду с ростом доли ТЭЦ до 77% к 2009 г. (дополнительный рост в 1,28 раза за 19 лет) [383].

Для нашей страны отсюда следует вывод, что наряду с развитием ВИЭ в ближайшие десятилетия наиболее значимым резервом снижения издержек энергоснабжения будет являться расширение комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Но стоимость производства электроэнергии ВИЭ стремительно снижается. В перспективе это значение рано или поздно вначале в некоторых регионах, а впоследствии повсеместно станет ниже стоимости производства тепловой энергии, что приведет к замещению отопления либо нагрева воды для горячего водоснабжения на электроотопление или электроподогрев воды. Это будет происходить сначала в относительно короткие промежутки времени, которые в дальнейшем будут увеличиваться. В результате теплоснабжение, включая аккумулялирование тепловой энергии, станет составной частью электротехнических систем потребителей.

Говоря о низких ценах на электроэнергию ВИЭ, следует сделать следующее существенное уточнение. Речь идет о разнице в стоимости так называемой диспетчеризированной и недиспетчеризированной электроэнергии. Если первая производится в строгом соответствии со спросом, то недиспетчеризированная электроэнергия поступает в сеть исходя из возможностей электростанций (солнечных, ветровых, АЭС, ТЭЦ, работающих в теплофикационном режиме по графику тепловых нагрузок). Проблема диспетчеризации (согласования графика спроса и стохастической генерации ВИЭ либо постоянной генерации АЭС и ТЭЦ) решается за счет изменения режима работы энергосистемы путем переноса на пиковые источники функции покрытия постоянно возникающих дисбалансов. В большинстве энергосистем, особенно в густонаселенных странах, уже многие десятилетия отсутствует возможность как увеличения мощности существующих, так и строительства новых регулирующих мощностей ГЭС и ГАЭС. Поэтому растет неравномерность работы традиционной энергетики – утяжеляются режимы работы ТЭС, возрастает время вынужденной разгрузки энергоблоков, увеличивается количество их пусков/остановов и т.д. В результате повышается УРУТ на производство электроэнергии, растут эксплуатационные затраты, быстрее снижается ресурс оборудования. Пока доля возобновляемых источников не превышает 5–10%, их появление в энергосистеме в определенной степени эквивалентно росту неравномерности графика электропотребления. В обоих случаях результатом является увеличение спроса на наиболее дорогие – пиковые генераторы и снижение загрузки традиционных электростанций, что выражается в уменьшении их КИУМ. То есть для традиционной энергетики при этой доле ВИЭ в энергосистеме возобновляемая энергетика является возмущающим воздействием внешней среды. Необходимость решения задачи согласования спроса и графика генерации ВИЭ определила опережающие темпы роста в таких смежных областях, как аккумулялирование энергии, электромобили, интеллектуаль-

ные сети (smart grid), управление спросом (demand response). Указанная политика предусматривает оказание активной помощи развитию энергоэффективных и энергосберегающих технологий и производств, возобновляемой энергетики, а также энергетической и транспортной инфраструктуры. Им выделяется значительная, а в ряде случаев преобладающая часть средств, поскольку именно эти сегменты экономики отличаются повышенным инновационным потенциалом и являются мультипликатором создания рабочих мест и производства добавленной стоимости [652].

В силу целого ряда причин сокращение использования ископаемых природных ресурсов в качестве топлива в России будет происходить (и фактически происходит) с временной задержкой по отношению не только к странам-лидерам в области развития ВИЭ, но и к среднемировому уровню. В условиях высокой обеспеченности ископаемыми природными ресурсами первоочередной задачей является не стимулирование сокращения этого отставания, а трансформация отечественной энергосистемы в направлении снижения издержек интеграции в нее ВИЭ. Без решения этой задачи последующее их распространение потребует введения дополнительных механизмов, приводящих к удорожанию электроэнергии. Тем более, что в сегодняшней ситуации, когда существует устойчивый спрос на строительство новых пиковых мощностей, эта трансформация соответствует задачам повышения эффективности использования действующих крупных тепловых электростанций и сокращения потребления ископаемых видов топлива за счет снижения УРУТ на производство электроэнергии при существующей структуре энергетических мощностей. И до реализации не в полной степени использованного потенциала сокращения потребления ископаемых видов топлива, таких как повышение эффективности использования существующих энергетических мощностей и энергосбережение на системном уровне с учетом взаимосвязи систем жизнеобеспечения, реализация большинства пока еще требующих субсидирования проектов ВИЭ является преждевременной. Данное утверждение является особенно актуальным, так как в России ситуация с ВИЭ имеет ряд отличительных особенностей от других стран.

Затраты при интеграции ВИЭ в энергосистемы обуславливают «системный эффект» [572], заключающийся в следующем. Даже если не учитывать необходимость дополнительного электросетевого строительства, масштабное развитие ВЭС и СЭС с их нерегулярной выработкой электроэнергии потребует либо частичного дублирования мощностей (например, увеличения мощности ГТУ), либо установки накопителей, регулирующих режимы выдачи их мощности. Расчеты показывают, что системный эффект (в частности, необходимость частичного дублирования мощности) увеличивает стоимость электроэнергии от ВЭС на 30% и от СЭС на 40%. Применение накопителей (даже при их двукратном удешевлении) оказывается еще более затратным решением: стоимость электроэнергии от ВЭС и СЭС в 2035 г. повысится на 60–80%. В аб-

солютных значениях в России стоимость электроэнергии СЭС в 2035 г. будет составлять 11,06 р./кВт·ч, а для ВЭС 8,04 р./кВт·ч [572]. Необходимость преодоления «системного эффекта», обусловленного действующей концепцией развития электроэнергетики, приводящего к удорожанию ВИЭ, путем строительства маневренных электростанций, систем аккумулирования энергии, включая ГАЭС – это и есть проявление отсутствия запаса структурной устойчивости отечественной электроэнергетики.

Рыночные отношения не могут не выровнять стоимость оборудования (ветроустановок, солнечных панелей, инверторов и т.п.), а также затрат на строительномонтажные и пуско-наладочные работы в России и в мире. Потребуется очень высокие ограничительные барьеры, сводящие на нет все утверждения о построении рыночной экономики, чтобы в условиях высокой маржинальности поставок и установки оборудования ограничить проникновение на российский рынок компаний, в том числе с иностранным участием, в частности на основе ЕРС-контрактов (engineering, procurement and construction).

Так как согласно [572], до 2035 г. доля ВИЭ в установленной мощности отечественной энергосистемы не будет превышать 5%, они будут реализовываться на территориях с наилучшей обеспеченностью природными ресурсами. Поэтому для России, занимающей  $\frac{1}{7}$  часть суши, утверждения о недостаточной обеспеченности ветром или солнечным излучением не являются обоснованием в защиту высокой стоимости генерации ВИЭ. Сопоставимая обеспеченность энергией ветра Северной Америки и Евразии едва ли может быть опровергнута. А вот в части доступности солнечной энергии отметим следующее. В 2019 г. наилучший показатель стоимости энергии СЭС не только в США, но в мире (менее 2 р./кВт·ч) достигнут не в южных штатах и не в таких странах, как Мексика, Чили, Перу, Австралия, Иордания, ОАЭ (в ОАЭ цена на электроэнергию СЭС снизилась в 2020 г. до 1,35 цента/кВт·ч<sup>2</sup>) и т.д., а в граничащем с Канадой штате Айдахо, где климатические условия в части инсоляции сопоставимы с российскими регионами европейской части: Кубанью, регионами СКФО, республикой Крым и азиатской части: Амурской и Читинской областями, Еврейской автономной областью, республикой Тува и т.д. Крайне сомнительными являются аргументы о большей востребованности земельных угодий, в том числе в предгорных местностях Дагестана, Ингушетии или Тувы для сельского хозяйства и, как следствие, о более высокой цене на землю по сравнению с ценами на землю в Айдахо – штате, который помимо выращивания пшеницы, сахарной свеклы и т.п. обеспечивает на одну треть потребности США в картофеле (при условии, что в США население в 2,27 раза больше, чем в России). Поэтому можно сделать вывод, что в основном разницу стоимости генерации ВИЭ в России и мире обуславливает «системный эффект» [572], а не:

---

<sup>2</sup> Самый низкий тариф на солнечную энергию в мире. 27.05.2020. URL: <https://www.offgridenergyindependence.com/articles/20761/lowest-tariff-for-solar-power-in-the-world> (дата обращения: 18.06.2020)

- обделенность территории (во всяком случае в рамках достижения значения 5% выработки ВИЭ от общего производства электроэнергии) в природном потенциале для развития ВЭС или СЭС;
- более высокая оплата труда в России по сравнению с США или европейскими странами;
- большая востребованность территорий для развития сельского хозяйства и т.д.

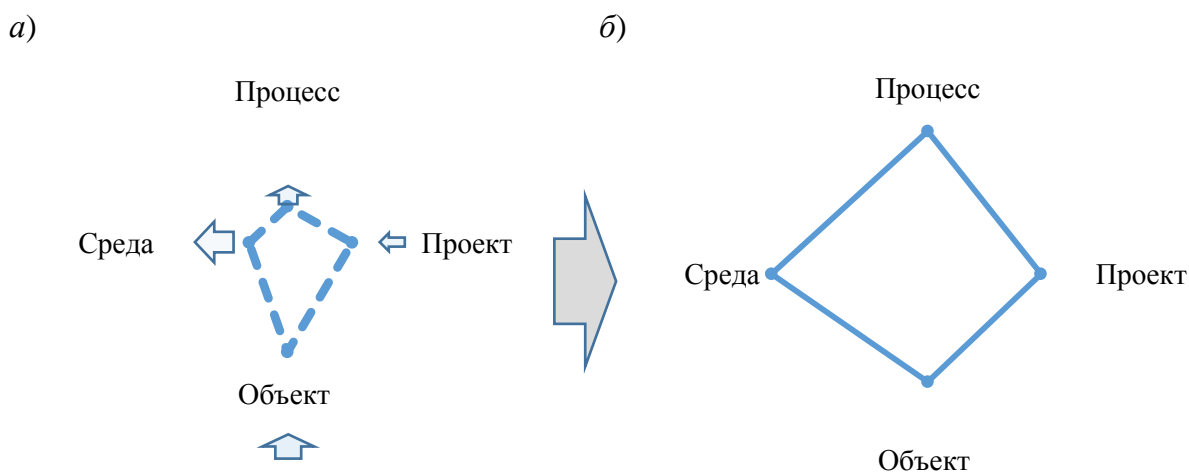
То есть проблема в разы более высокой стоимости ВИЭ в России по сравнению со странами с сопоставимыми природными условиями лежит в организационной плоскости и на 100% определяется дезингрессиями реформы электроэнергетики. Соответственно путь ее решения – это корректировка действующей в России концепции развития электроэнергетики. Для компенсации влияния накопленных системных противоречий без ее реализации требуется повышение цен на ВИЭ на десятки процентов.

#### ***1.4. Гармонизация тетрады российской электроэнергетики***

Препятствием развития ВИЭ в России является тот факт, что сегодня в стране возобновляемая и традиционная энергетика стали двумя антиподами, которые находятся между собой в контротношениях, а могут найти достаточно гармоничное сочетание. Гармонизация их взаимоотношений ~ задача, которая может и должна быть поставлена и в научном, и в практическом плане. Путь решения: восстановление структурной устойчивости отрасли, уровень которой снизился вследствие ослабления и утраты межотраслевых и внутриотраслевых структурных связей. В этом случае вместо повышения надежности энергоснабжения за счет ввода в действие пиковых электростанций, в энергосистеме возникает горизонт возможностей, позволяющий использовать незадействованный потенциал повышения эффективности работы новой системы, включающей в себя производителей, сети и потребителей энергии.

Сегодня энергетика – это совокупность энергоснабжающих предприятий, каждое из которых, развиваясь в направлении своего экономически оптимального состояния, максимизирует результаты своей текущей хозяйственной деятельности. Их целью является удовлетворение спроса на энергетические ресурсы потребителей народнохозяйственного комплекса, т.е. энергопотребляющих предприятий и населения. При этом задачей планирования развития энергетике является обеспечение этой потребности (как заданной экзогенно программы) с минимальными издержками. Для того чтобы эта программа перестала быть внешней для энергетике, необходима гармонизация интересов производителей, сетей и потребителей энергии путем устранения существующей переразмеренности объектной системы как основной причины фрагментарности экономики [224] и приведение в сбалансированное состояние тетрады (рис. 1.2).

Путь решения этой задачи в контексте развития энергетики – проведение ингрессий между потребителями и производителями электроэнергии. В настоящее время эти ингрессии могут быть реализованы не столько на основе новых разработок, которые хоть и будут снижать свою стоимость, но остаются достаточно капиталоемкими, сколько за счет расширения границы применимости хорошо известных и апробированных технологических решений путем задействования возможностей потребителей электроэнергии и их вовлечения в процесс оптимизации функционирования энергосистемы [523].



**Рис. 1.2 Направление трансформации тетрады российской энергетики: текущее состояние тетрады (а) и состояние тетрады при реализации альтернативной концепции развития энергетики (б)**

Противодействие ранее сложившихся стереотипов формированию новых связей является объективной составляющей развития любой системы. В рамках действующей концепции развития энергетики обоснование некорректности вовлечения потребителя в регулирование графика нагрузки следующее. Предприятия, выпускающие дорогую продукцию, по цене много дороже электрической и тепловой энергии, совсем не обязаны решать задачу облегчения режимов электро и теплогенерации в энергосистеме. Для них в приоритете качество производимой продукции, которое обычно требует стабильной работы технологических установок. Изменение их технологических режимов в угоду энергетике не будет допустимым. Логичным следствием этой экономически обоснованной точки зрения является дальнейшее выполнение производителями электроэнергии внешней для них, задаваемой потребителем производственной программы и, как следствие, дальнейшее включение в стоимость электроэнергии обусловленных этой концепцией издержек.

Но технологические процессы потребителей могут быть изменены без ущерба для них путем формирования новых связей между их электротехническими комплексами и энергосистемой. Наиболее простое для любого бытового потребителя решение – это использование возможностей инверторных компрессоров бытовых холодильников с целью регулирования графика спроса. В отличие от периодических вклю-



чений и отключений инверторные компрессоры работают постоянно, изменяя свою мощность для поддержания постоянной температуры в холодильной камере. С целью демпфирования провалов или всплесков активной мощности в электросети в пределах номинальной мощности компрессора (150–300 Вт) при работе его с частичной нагрузкой следует обеспечить управление его режимами на основе smart grid технологий. Снижение потребления миллионами компрессоров бытовых холодильников в периоды максимального спроса и соответственно высокой цены на электроэнергию и увеличение во время провалов потребления другими электроприборами является альтернативой вынужденного снижения мощности крупных энергоблоков. Результатом является повышение эффективности работы энергосистемы за счет роста структурной устойчивости технологической цепочки «производство-потребление ТЭР».

Приведенный пример является иллюстрацией подхода, при котором оптимизация энергоснабжения происходит путем формирования новых связей за счет технологических возможностей потребителя, но не в ущерб ему. Ограничивающим фактором является не доступность электроприемников с инверторными компрессорами или недостаток финансовых средств для их установки, а отсутствие инфраструктуры для его реализации. Для этого требуется модернизация распределительных сетей на основе smart grid технологий налаживания процесса взаимодействия потребителя и энергосистемы. Результатом создания micro smart grid станет возможность реализации целого спектра доступных уже в настоящее время технологических решений для повышения эффективности работы энергосистемы, но находящихся вне поля зрения энергетики в рамках действующей концепции ее развития. Один из них – это расширение области использования электромобилей. Речь идет о задействовании аккумуляторов припаркованных транспортных средств для выравнивания графика нагрузки и повышения надежности энергоснабжения. Уже по состоянию на 2015 г., когда литий-ионные накопители были более чем в три раза дороже, чем сегодня, было обосновано, что распределенные системы накопления на базе парков электромобилей экономически эффективны при режиме их использования до 1 ч/сут. [653].

Ингрессия самостоятельно развивающихся систем жизнеобеспечения (транспортной и энергоснабжения) является одним из множества способов роста структурной устойчивости электроэнергетики. Ее основой является использование парка припаркованных электромобилей для выравнивания графика загрузки традиционной энергетики, обеспечения баланса мощности при приеме в энергосистему зависящей от природных факторов генерации ВИЭ в установившихся нормальных режимах энергоснабжения. В аварийных режимах этот механизм будет обеспечивать автономное электроснабжение выделенной нагрузки потребителей. Глубина его распространения и значимость для повышения структурной устойчивости электроэнергетики будет возрастать по мере расширения парка электромобилей.

Но сегодня ингрессии подобного рода не реализуются, потому что каждый объект, став самостоятельной системой, начал эффективно решать определенную задачу в области передачи, производства, продажи электроэнергии и т.д., что и является исходной целью реформы. Деятельность новых объектов направлена на выполнение внешней, извне для них заданной производственной программы обеспечения спроса на электроэнергию, который становится все менее равномерным как по причине изменения характера потребления, так и появления стохастической генерации ВИЭ. В итоге:

- инвестиции используются наиболее эффективным образом с точки зрения каждого отдельного хозяйствующего объекта, но не системы в целом;
- мощность энергосистемы увеличивается, КИУМ снижается, но спрос на пиковые источники и системы аккумулирования энергии возрастает, что приводит к росту издержек энергоснабжения, которые в полной мере оплачивают потребители;
- сетевая инфраструктура расширится, но потери передачи электроэнергии зачастую увеличиваются.

Отсутствуют предпосылки трансформации характера функционирования сформировавшейся системы как в случае поддержания состояния энергетических мощностей и сетевой инфраструктуры в неизменном виде, так и при их модернизации, в том числе с использованием механизма новых договоров предоставления мощности (так называемого механизма ДПМ штрих). Эти решения, включая повышение коэффициента полезного действия новых энергоблоков в результате перехода на парогазовый цикл либо суперсверхкритические параметры пара, обеспечат рост эффективности производства электроэнергии на несколько процентов, что не является решением проблемы.

Гипотетическое изменение стратегического направления – преимущественное развитие традиционной энергетики, по которому отрасль развивалась в соответствии с Энергетическими стратегиями до 2010 г., 2020 г., 2030 г., 2035 г., на усиленное развитие ВИЭ также не устранил природу накопленных дисбалансов. Во всех перечисленных сценариях сохранится преобладание объектной компоненты тетрады. Объекты как традиционной, так и возобновляемой энергетики, продолжая повышать экономические результаты своей деятельности, будут продолжать перекладывать на потребителей издержки своего функционирования. В силу практического отсутствия процессов координации возможностей потребителей по регулированию графика спроса на электроэнергию, механизмы снижения издержек в результате использования возможностей оптимизации технологической цепочки «производство-потребление ТЭР» останутся не востребованными. То есть практически в неизменном виде в системе будет действовать «энергетический тормоз развития экономики» и для смягчения его влияния на ингибирование экономического развития и в дальнейшем будет требоваться экзогенное воздействие государства для сдерживания роста стоимости электроэнер-

гии. Причина заключается в том, что подобные изменения не затрагивают концептуальных основ функционирования энергетики.

Тектология дает ответ о перспективах эволюционирования такой системы: «для положительного подбора в природе, т.е. для сохранения или развития данного комплекса в данной среде, требуется, чтобы была благоприятна вся совокупность условий среды; для отрицательного подбора, т.е. дезорганизации данного комплекса, достаточно одного неблагоприятного условия, неприспособленности хотя бы в одном отношении к одной части среды. Для ослабления, а затем и гибели организма нет надобности в нарушении всех или многих условий: вопрос решается отсутствием одного из них» [626, т. 2, с. 166].

Решением является изменение концептуальных основ развития энергетики, направленное на устранение дисбалансов функционирования тетрады путем системной интеграции производителей и потребителей электроэнергии. Ее основой является механизм отбора, сохраняющий и усиливающий те связи и соотношения, которые увеличивают структурное и функциональное соответствие элементов системы. Разрушая системные противоречия, интеграция создает условия для новой дифференциации на более высоком уровне [630, с. 261]. Планомерное движение в направлении формирования новых связей на основе ранее известных технологических решений с учетом последних достижений научно-технического прогресса и становления процессов взаимодействия потребителей и энергосистемы с целью снижения издержек энергоснабжения, будет определять вектор развития энергетики. Решение этой задачи подразумевает научно обоснованное использование как существующих организационно-экономических и организационно-технических механизмов, так и появление новых, направленных на ее решение. В соответствии с законом Эшби только разнообразие может справиться с разнообразием [654].

Альтернатива действующей концепции развития энергетики в краткосрочной перспективе сфокусирована на повышение КИУМ существующих ТЭС и АЭС, а в долгосрочной – на снижение издержек интеграции ВИЭ с их требующей диспетчеризации энергии («системного эффекта» в сегодняшнем его понимании [56]) в энергосистему. То есть речь идет о переходе к новой концепции развития электроэнергетики и повышении ее структурной устойчивости в результате интенсификации развития находящейся сегодня на второстепенном плане средовой и процессной компонент тетрады (рис. 1.2).

Переход к альтернативной концепции основывается на инструментарии управления устойчивостью экономических систем на основе теории техноценозов [488, 499, 615], базовые положения которого разработаны в ходе исследований [187, 215].

Охватывающая все области естествознания теория техноценозов является не менее универсальной научной теорией, чем тектология и общая теория систем. Их

объединяет тот факт, что базовые принципы этих теорий – это результаты наблюдений их авторов за мудростью устройства живой природы, гармонией взаимодействия живых организмов между собой и с внешней средой. Как выпускник медицинского факультета Харьковского университета А.А. Богданов и австрийский биолог Л. фон Бергаланфи, так и основоположник теории техноценозов Б.И. Кудрин, результаты своих наблюдений над биологическими объектами обобщили и получили общие закономерности, характерные для любых систем вне зависимости от их природы. На основе развития аналогий, возникающих при сопоставлении законов развития живой и неживой природы [656], Б.И. Кудриным было выявлено по меньшей мере 46 общих закономерностей биологической и техноэволюции [68, с. 48–59].

Согласно теории техноценозов, любая система приходит к сбалансированному соотношению крупных и мелких элементов. В энергосистемах развитых стран это выразилось в опережающих темпах развития распределенной энергетики. По мере сокращения отличий между удельной стоимостью строительства и последующей эксплуатации крупных и мелких электростанций в этих странах приоритет получило создание небольших источников электроэнергии, приближенных к потребителю и, как следствие, развитие smart-grid технологий в распределительных сетях.

В России основой энергосистемы, ее центром экспрессии останется традиционная энергетика. Но для повышения надежности энергоснабжения потребителя и обеспечения возможности сохранения работы жизненно важных для него электроприборов при различных авариях в энергосистеме, ее следует дополнить распределенной энергетикой. В силу более высоких маневренных возможностей малых генерирующих установок по сравнению с крупными энергоблоками основная задача распределенной энергетики:

- в установившемся нормальном режиме – покрытие пикового спроса на электроэнергию и обеспечение возможности работы крупных тепловых электростанций в номинальном режиме при наименьшем УРУТ на производство электроэнергии;
- в аварийных режимах – поддержание бесперебойности электроснабжения выделенной нагрузки.

Результат появления возможности выравнивания графика работы традиционной энергетике за счет покрытия пиковой нагрузки небольшими источниками – это повышение пластичности энергосистемы. Это не только снижение УРУТ на производство электроэнергии, но и уменьшение времени работы крупных энергоблоков в переходных режимах, что ведет к более равномерному использованию их ресурса, сокращению расходов на техническое обслуживание, повышению КИУМ.

При приближении производства электроэнергии к потребителям, которые в большинстве случаев в силу климатических особенностей России также являются потребителями тепла, логичным является развитие когенерации и использование не в

полной степени реализованного потенциала снижения УРУТ на производство электроэнергии в результате комбинированного производства тепла и электроэнергии. На протяжении десятилетий в России сформировалась система расположенных вблизи потребителей котельных. Их распределение по мощности в соответствии с теорией техноценозов описывается *H*-распределением. Модернизация и надстройка функционирующих сегодня котельных когенерационными установками с синхронными генераторами станет основой для совместного производства тепла и электроэнергии, использование системы источников теплоснабжения в качестве пространственного скелета для формирования распределенной энергетики – это повышение надежности не только электро, но и теплоснабжения территории России.

Возникающее при этом тектологическое противоречие заключается в том, что работа малых когенерационных установок для сглаживания кривой спроса и обеспечения возможности работы в номинальных режимах традиционной энергетики происходит по графику электрических нагрузок. При этом тепло должно вырабатываться по графику тепловых нагрузок. Решением является установка систем аккумуляции тепловой энергии в модернизированных для комбинированного производства тепла и электроэнергии котельных, что позволит при работе когенерации по графику электрических нагрузок накапливать невостребованное в данный момент попутное тепло для использования его в периоды спроса на тепловую энергию.

Когда спрос на электроэнергию обеспечивается базовыми источниками без задействования пиковых мощностей распределенной энергетики, синхронные машины когенерационных установок могут работать в режиме синхронных компенсаторов, поддерживая требуемый уровень напряжения в распределительных сетях. Результатом является снижение потерь в электросетях не только в результате приближения источника электроэнергии к потребителю, но и за счет поддержания баланса реактивной мощности, а также обеспечения возможности более полного использования уже существующих трансформаторных подстанций и пропускной способности линий электропередач.

### ***Выводы к главе 1***

Правила отбора определяют вектор эволюции систем в направлении повышения своей устойчивости. Уровень экономического развития зависит от потребления энергии. Основой структурной устойчивости экономики является доступность энергии. Электроэнергия – это наиболее быстрорастущий энергетический ресурс. Поэтому в результате отбора в странах со сформировавшимися рыночными отношениями возникли организационно-экономические механизмы, которые на протяжении десятилетий обеспечивают стабильность цен на электроэнергию.

На основе сопоставления общих тенденций общественного развития в России конца XIX – начала XX вв. и настоящего времени выявлен ряд общих закономерностей:

- идентичность вектора трансформации устоявшихся в предыдущие поколения общественных отношений;

- для ряда отраслей национальной экономики стало характерным превалирование объектной компоненты тетрады; в результате дисбаланса произошло замедление в этих отраслях научно-технического прогресса и последующее отставание в них России по сравнению с другими странами в отличие от тех отраслей, где компоненты тетрады развивались более гармонично; характерной особенностью первой группы отраслей является более низкий уровень развития механизмов процессов координации интересов потребителей продукции и услуг по сравнению с процессами координации интересов выгодополучателей развития этих отраслей;

- максимизация каждым хозяйствующим объектом экономических результатов своей хозяйственной деятельности вследствие несбалансированности тетрады и гипертрофированного развития ее объектной компоненты;

- расширение бюрократического аппарата и коррупционной емкости экономики для согласования вопросов, возникающих из-за слабой развитости процессной системы координации интересов потребителей;

- высокие цены на электроэнергию;

- организационные препятствия в развитии ВИЭ, приводящие к удорожанию их энергии, во многом идентичны барьерам распространения трамвайного движения и электрического освещения в городах России;

- назревшая необходимость государственного вмешательства и бесперспективность ожидания снижения цен на электроэнергию в результате самоорганизации отрасли.

В России успешно достигнута цель реформы электроэнергетики. Произошло появление эффективно функционирующих хозяйственных объектов в результате разделения отрасли и отделения электросетей и диспетчерских услуг от деятельности по производству и продаже электроэнергии. Каждый вновь появившийся объект стал максимизировать экономические результаты своей деятельности, и как положено любой системе на начальном этапе функционирования, начал повышать показатели количественной устойчивости. В итоге при неизменном с точностью до 3% объеме электропотребления в 1990 и 2018 г. мощность энергосистемы только в 2008–2017 гг. увеличилась более чем на 17%, произошел рост протяженности и пропускной способности электросетей, установленной мощности трансформаторов и т.д. Но из достижения множества локальных оптимумов самостоятельно действующих объектов вовсе не следует переход экономики как сложной системы в более устойчивое состояние. Поэтому результаты процесса реформы электроэнергетики следует рассматривать с по-

зации успешности функционирования механизмов отбора в части обеспечения структурной устойчивости российской экономики. Снижение эффективности использования генерирующих мощностей привело к опережающему росту цен на электроэнергию и фактически стало «энергетическим тормозом развития экономики» [620], что является одной из причин уменьшения темпов социально-экономического развития. То есть дезинтеграции реформы отрасли вызвали гипертрофированное, переразмеренное развитие объектной компоненты тетрады, а в 2008–2017 гг. и ее проектной компоненты, что привело к снижению структурной устойчивости экономики. Как результат, согласно расчетам ИНЭИ РАН, издержки интеграции ВИЭ в российскую энергосистему не только в настоящее время, но и к 2035 г. будут приводить к удорожанию их энергии на десятки процентов. Это является негативным фактором, замедляющим сокращение выброса парниковых газов.

Снижение уровня гипертрофированности развития объектной системы – это гармонизация соотношения частей тетрады. В энергетике для этого требуется переход от функционирования совокупности объектов, специализирующихся на определенном сегменте (на производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии) искусственно разделенного единого процесса энергоснабжения, к следующему этапу эволюционирования тетрады, для которого будет характерно сбалансированное соотношение ее компонент. Это предполагает более интенсивное развитие средовой системы, сфокусированной на снижении издержек энергоснабжения в результате оптимизации функционирования технологической цепочки «производство-потребление ТЭР» преимущественно за счет потребителя, но не в ущерб ему. Интеграции производства, распределения и потребления электроэнергии, реализуемые в результате возникновения новых связей между системами, на основе организационно-экономических и организационно-технических механизмов – это путь гармонизации компонентов тетрады. Поэтому следует содействовать формированию как вертикальных связей, объединяющих экономические интересы сетевых компаний с производителями и потребителями электроэнергии, так и горизонтальных, направленных на координацию функционирования электроэнергетики и жизнеобеспечивающих систем.

Отличительной особенностью развития средовой системы является рост роли науки [466]. Инновации становятся ключевым параметром, определяющим направление трансформации целых отраслей экономики. Как в начале XX в. в 8 раз более дорогое электрическое освещение вытеснило керосиновое, тем самым в разы уменьшив объем производства керосина, так и в настоящее время ВИЭ все более агрессивно замещают традиционную энергетику. Развитие электроэнергетики должно основываться на последних научных достижениях и с учетом того факта, что распространение новых технологических решений в электроэнергетике происходит значительно медленнее, чем, например, в области компьютерной или химической отрасли.

Повышение коэффициента полезного действия новых энергоблоков в результате перехода на парогазовый цикл либо суперсверхкритические параметры пара, как и модернизация действующих электростанций повысят эффективность производства электроэнергии на несколько процентов. Но эти мероприятия, как и гипотетическое изменение вектора развития традиционной энергетики на усиленное развитие ВИЭ, не устранят природу накопленных дисбалансов. Требуется корректировка концептуальных основ сегодняшнего эволюционирования электроэнергетики на следующих базовых принципах, направленных на повышение ее структурной устойчивости:

1. Целостное рассмотрение единого технологического процесса производства и потребления электроэнергии. Использование возможностей изменений технологических процессов, происходящих в электротехнических системах и комплексах потребителей, для выравнивания графика загрузки существующих мощностей энергосистемы. Мероприятия, направленные на повышение эффективности использования тепловых и атомных электростанций, – это важный подготовительный этап долгосрочной задачи формирования условий для снижения издержек интеграции ВИЭ в энергосистему и приема их недиспетчеризированной, определяемой природными условиями энергии.

2. Формирование дополнительных связей между потребителями и энергосистемой, направленных на формирование новой системы – единой вертикально интегрированной технологической цепочки «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов», состоящей сегодня из самостоятельно функционирующих объектов электроэнергетики, сетевой инфраструктуры и потребителей.

3. В отличие от ограничения потребителей в развитии собственной генерации, поддержка использования их финансовых ресурсов для увеличения пластичности энергосистемы. Формирование организационно-экономических механизмов покрытия пикового спроса на основе распределенной энергетики с целью функционирования крупных электростанций в наиболее экономичном базовом режиме.

4. Усиление наиболее слабого места в технологической цепочке «производство-потребление ТЭР» – распределительных сетей в соответствии с «законом наименьших относительных сопротивлений», согласно которому устойчивость систем, а также комплексов определяется устойчивостью наиболее слабого звена [630, с. 244]. Сокращение потерь в электросетевом комплексе путем приближения источника электроэнергии к потребителю и обеспечения баланса реактивной мощности на основе работы синхронных машин распределенной энергетики. Повышение надежности энергоснабжения в результате сокращения времени отключений из-за аварий путем поддержки развития распределенной генерации, имеющей возможность работы на выделенную нагрузку в аварийных режимах.

5. Использование не в полной степени реализованного потенциала снижения УРУТ на производство электроэнергии за счет комбинированной выработки тепла и



электроэнергии путем надстройки существующих котельных когенерационными установками. В результате сформировавшаяся на протяжении десятилетий совокупность источников теплоснабжения будет выполнять скелетную функцию для пространственного размещения распределенной когенерации. При сохранении роли сегодняшней традиционной энергетики как центра экспрессии, ее дополнение распределённой когенерацией.

6. Рост структурной устойчивости энергосистемы путем преимущественного развития распределенной энергетики в соответствии с теорией техноценозов, приближение структуры распределения российских электростанций по мощности к *H*-распределению.

7. Первоочередное развитие наименее капиталоемких технологических решений, имеющих эквивалентный эффект по снижению негативного влияния на окружающую среду. Начало реализации проектов после сопоставления удельных затрат на снижение потребления топлива и выброса парниковых газов на основе альтернативных решений: развития когенерации на сформировавшемся тепловом потреблении; развития различных технологий ВИЭ; роста энергетических параметров существующих теплоэлектростанций, в том числе при замене паросилового на парогазовый цикл.

В следующих главах разработаны механизмы, направленные на повышение структурной устойчивости электроэнергетики в результате роста эффективности использования действующих энергетических мощностей и оптимизации структуры энергосистемы, вовлечения не в полной мере использованного потенциала когенерации, координации развития электроэнергетики с технологическими процессами потребителей и систем жизнеобеспечения и т.д.

## ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

### *2.1. Цена электроэнергии с точки зрения обеспечения энергетической безопасности*

Негативное воздействие роста цен на электроэнергию отмечается многими профессионалами: Л.С. Беляевым, Н.И. Белоусовым, Е.М. Васильевым, В.Н. Лившицем, Л.Ю. Богачковой, Ю.В. Зайцевой, Л.Д. Гительманом, И.Д. Грачевым, Б.Е. Ратниковым, С.С. Занковским, В.Ф. Яковлевым [458–460, 463–465, 569, 582]. Исследования в этом направлении имеют более чем вековую историю [381].

Проведенный анализ [53] показал, что высокая стоимость энергоснабжения является фактором, негативно влияющим на темпы экономического развития России. Причем значимым параметром является не только текущее значение цены электроэнергии, но и динамика ее изменения. При этом отличительной особенностью функционирования отрасли является прогнозное ожидание роста цен на электроэнергию, без которого не может быть обеспечена устойчивость деятельности производственных систем энергетики.

Политика сдерживания цен на электроэнергию проводится уже на протяжении пяти лет. Поводами для этого стали резкий рост энергоцен после реформы РАО «ЕЭС России», а с 2014 г. – экономическая рецессия. Накоплены проблемы: ухудшение финансового положения отдельных распределительных компаний, долги потребителей, выпадающие доходы от льготного технологического присоединения и прекращения договоров «последний мили». С 2012 по 2016 г. инвестиции в электросетях упали на 41% в реальном выражении.

В исследовании Института энергетических исследований РАН [457] был обоснован ряд положительных следствий для экономического развития сдерживания цен на энергоснабжение, а именно:

- политика сдерживания цен на энергоресурсы может повысить в 2015–2020 гг. (относительно консервативного сценария прогноза социально-экономического развития России Министерства экономического развития) на 0,8–1,3% среднегодовые темпы роста ВВП, доходов населения, промышленного производства и накопления основного капитала;
- сдерживание роста и упорядочение цен на энергию способно стимулировать новую реиндустриализацию России и на две трети сократить разрыв между консервативным и инновационным сценариями развития экономики.

Также в [457] показано, что:

- доля расходов на электроэнергию и газ у ряда отраслей российской промышленности уже превысила зарубежные показатели;
- низкие затраты на энергоресурсы уже не являются конкурентным преимуществом российской промышленности. Более того, они уже достигли той критической черты, после которой начинают ограничивать ее конкурентоспособность;
- в последние годы рентабельность ОАО «Газпром» на внутреннем рынке (даже без учета сверхприбыльных экспортных операций) и средняя рентабельность большинства электроэнергетических компаний намного превосходит уровень рентабельности других отраслей промышленности в России.

Административное сдерживание цен на электроэнергию, являясь механизмом решения локальных краткосрочных задач, не решает системных проблем. В свою очередь регулярно проводимая деятельность по обеспечению развития электроэнергетики в условиях отсутствия опережения роста цен на электроэнергию по отношению к уровню инфляции на протяжении длительного периода времени не увенчалась успехом. В итоге за 2008–2017 гг. рост тарифов на электроэнергию для предприятий и населения рос темпами, опережающими инфляцию [476]. Эта тенденция сохраняется в настоящее время, причем понимание того, что она сохранится как минимум в начале 2020-х гг. несмотря на указание президента России Владимира Путина на то, чтобы стоимость энергии не обгоняла инфляцию, которое не выполняется [668], определяет программы инновационного развития предприятий реального сектора экономики.

При этом несмотря на цены, превышающие в ряде случаев мировой уровень, и кажущуюся достаточность финансовых средств для выполнения инвестиционных программ по поддержанию энергетики на высоком уровне износ объектов коммунальной инфраструктуры в России составлял в среднем 60%, имея явную тенденцию к росту: котельных – 55%, сетей водопровода – 65%, сетей канализации – 63%, тепловых сетей – 63%, электрических сетей – 58%, водопроводных насосных станций – 65%, канализационных насосных станций – 57%, очистных сооружений водопровода – 54%, очистных сооружений канализации – 56%, трансформаторных подстанций – 57% и действуют совершенно другие факторы, которые во многом определяют системную надёжность [168]. В настоящее время половина производственных фондов в электроэнергетике и нефтедобыче, более трети в газовой промышленности, около 60% в угольной отрасли и 80% в нефтепереработке превысили проектные ресурсы работы. Практически исчерпаны и вступили в фазу падающей добычи все действующие крупные месторождения газа. Свыше  $\frac{2}{3}$  угольных шахт эксплуатируется более 30 лет, причем только 15% используемого в них оборудования отвечает мировому уровню [86]. Это ведет к вынужденному продлению ресурсов работы оборудования и нарушению

технической безопасности энергообъектов, к увеличению ремонтных затрат, наконец к росту угрозы массового выхода оборудования из строя [34].

То есть вопрос цен на электроэнергию неразрывно связан с обеспечением энергетической безопасности. Проект Энергетической стратегии России до 2035 г., являясь развитием как ранее действовавших [166, 167], так и текущего документа [40], определяет приоритеты государственной энергетической политики на ближайшее время. Первым приоритетом как по номеру, так и по значимости является «гарантированное обеспечение энергетической безопасности страны и её регионов» [161].

Понятие энергетическая безопасность (ЭнБ) было сформулировано Международным энергетическим агентством как уверенность в том, что энергия будет иметься в распоряжении в том количестве и того качества, которые требуются при данных экономических условиях [163]. Согласно Энергетической стратегии России до 2030 г. [40], энергетическая безопасность – это состояние защищенности страны, ее граждан, общества, государства и экономики от угроз надёжному топливо- и энергообеспечению. Эти угрозы определяются внешними (геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными) факторами, а также состоянием и функционированием энергетического сектора страны. Обеспечение энергетической безопасности зависит от ресурсной достаточности, экономической доступности, экологической и технологической допустимости. Ресурсная достаточность определяет физические возможности бездефицитного обеспечения энергоресурсами национальной экономики и населения, экономическая доступность – рентабельность такого обеспечения при соответствующей конъюнктуре цен, экологическая и технологическая допустимость – возможность добычи, производства и потребления энергоресурсов в рамках существующих на каждом этапе технологий и экологических ограничений.

Вопросу ЭнБ уделяется значительное внимание в отечественных исследованиях [561]. В [226] при рассмотрении энергетической безопасности использована методология Международного института системного анализа (IIASA, МИПСА, Лаксенбург, Австрия) и Международного Энергетического агентства (IEA, МЭА, Штаб-квартира находится в Париже). Согласно [164] энергетическая безопасность – это состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения. При этом состояние защищенности – состояние, соответствующее в нормальных условиях обеспечению в полном объеме обоснованных потребностей (спроса) в энергии, в экстремальных условиях – гарантированному обеспечению минимально необходимого объема потребностей.

Выделяется две компоненты ЭнБ: тактическая и стратегическая. В тактической компоненте ЭнБ определяющим является надёжность (включая живучесть) энер-

госнабжения [576]. Согласно [362], надёжность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Данное направление подробно исследовано отечественной энергетической школой, например, [363, 364, 410, 411, 412, 436, 437]. В стратегической – защищенность страны от завышенной стоимости энергоснабжения, которая может приводить к сдерживанию (торможению) экономического роста и соответственно социального прогресса или даже невозможности поддержания нормального функционирования общества и экономики при минимальном или нулевом экономическом росте. В связи с анализом и разработкой средне- и долгосрочных энергетических перспектив – сначала до 2010 г. [166], затем – до 2020 г. [167], наконец, до 2030 г. [40], выяснилось, что главная опасность для ЭНБ в долгосрочной перспективе – вероятность длительного дефицита физически и экономически доступных ТЭР: невозможность обеспечить ими требуемые (заданные государственным руководством) темпы экономического роста и социального прогресса. Таким образом, на первый план выдвинулась стратегическая компонента ЭНБ, которая в отличие от задач по обеспечению живучести системы энергоснабжения, должна основываться на приоритете интересов потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и возможностей более эффективного использования ими энергии при комплексном учете отличительных особенностей российского топливно-энергетического комплекса (ТЭК) [165].

В работе НГТУ [168] отдельно рассматриваются технико-технологическая надёжность энергоснабжения – свойство системы производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства и передачи электроэнергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, производить и доставлять электроэнергию потребителям в заданном объеме и требуемого качества при определенных условиях функционирования; организационно-экономическая – свойство системы отношений и взаимосвязей объектов электроэнергетики и потребителей, позволяющее обеспечить баланс экономических интересов при соблюдении ограничений по экологической и технологической безопасности энергетики. (При этом объекты электроэнергетики и потребители рассматриваются отдельно). Таким образом, технико-технологическая надёжность соответствует тактической компоненте ЭНБ, а организационно-экономическая – стратегической. Вопрос обеспечения и управления ЭНБ на уровне региона Российской Федерации исследован в [374, 375].

Энергетическая безопасность характеризуется тремя главными факторами: способностью ТЭК обеспечивать достаточное предложение экономически доступных качественных ТЭР; способностью экономики (как системы потребителей ТЭР) рацио-

нально (бережно) расходовать энергетические ресурсы и соответственно ограничивать свой спрос; достаточно широким уровнем устойчивости систем энергетики и ТЭК в целом к возмущающим воздействиям при реализации потенциальных угроз ЭНБ, а также устойчивости сферы энергопотребления к дефицитам и нарушениям энергоснабжения, вызванными этими угрозами. Таким образом, ЭНБ – атрибут не только энергетики и даже не только производственной сферы, но и общества в целом [165].

Согласно Энергетической дорожной карте, принятой Европейской комиссией в Брюсселе в декабре 2011 г. [158], благосостояние населения, конкурентоспособность промышленности, стабильность общества зависят от безопасного, надёжного, устойчивого и доступного энергоснабжения. Согласно исследованиям Высшей школы социальных наук (EHNESS, Париж, Франция), энергетическая безопасность подразумевает такие условия, при которых потребитель имеет надёжный доступ к необходимой ему энергии, а поставщик – к её потребителям. То есть речь идет не только о бесперебойных потоках, но и о стабильных и разумных ценах [159].

В Докладе Президиуму Государственного совета Российской Федерации «О повышении энергоэффективности российской экономики» (Архангельск 2009) [157] энергетическая безопасность была определена как способность страны или региона обеспечить энергоресурсами экономический рост, снижение уровня бедности и улучшение качества жизни по доступным ценам.

То есть, среди множества подходов к определению ЭНБ *ключевыми параметрами являются стоимость энергоснабжения и его способность обеспечить экономический рост*. Для России – самой холодной и протяженной страны с очень низкой плотностью населения и энергетической инфраструктуры – соответственно в 4 и 7 раз меньше, чем в США, это особенно актуально. Как указывает академик А.А. Макаров, энергетическая эффективность российской экономики в 5 раз хуже среднемировой, а нагрузка энергетики на экономику в 4 раза выше: капитальные вложения в отечественную энергетику составляют 6% ВВП при 1,5% в мире целом [44].

Таким образом:

- цена электроэнергии является значимым фактором, не только влияющим на темпы экономического развития, но и определяющим стратегическую энергетическую безопасность, что предполагает необходимость поддержки государством разработки и реализации механизмов ее снижения и ответственности электроэнергетических компаний перед обществом за их обеспечение [227];
- анализ функционирования системы энергоснабжения в рамках действующей концепции развития энергетики выявил необходимость дальнейшего роста стоимости электроэнергии выше уровня инфляции.

## ***2.2. Фрагментарный подход – одна из причин высокой стоимости энергоснабжения и региональной дифференциации цен на электроэнергию***

Исследованию причин опережающего инфляцию роста издержек в энергетике и его значения для социально-экономического развитие посвящен целый ряд исследований [343, 349, 564, 566, 568, 574, 581, 582]. Ключевой причиной является раздельное рассмотрение потребителей и системы энергоснабжения в результате проведенных в отрасли дезингрессий.

В рамках действующей концепции развития энергетики при анализе развития экономики определяют потребности потребителей в энергии, а всю совокупность энергоснабжающих предприятий рассматривают как систему. И цель системы энергоснабжения – минимизация издержек для заданной экономикой производственной программы энергетики [307, 439]. Этот подход определяет роль потребителя электроэнергии как элемента экономики – это создание фиксированного для каждого момента времени спроса, а задача системы энергоснабжения обеспечение заданного спроса при минимальных издержках.

В итоге из единого организма, включающего в себя производство, распределение и потребление энергетических ресурсов, произошло выпадение потребителя и до сих пор потребитель не входит в перечень субъектов электроэнергетики [322]. Несмотря на определение в ФЗ «Об электроэнергетике» «потребителя электроэнергии с управляемой нагрузкой» в соответствии с действующими моделями ценообразования, возможность реализации стратегии активного потребителя ограничена. Анализ цен генерации на оптовом рынке показывает, что возможность реализации стратегии активного потребителя существует только в нерегулируемом секторе, однако она ограничена: основным преимуществом стратегии активного потребления является действие в режиме реального времени, а в настоящее время на спотовом рынке планирование осуществляется в режиме «на сутки вперед», и отклонения потребителя от запланированного объема потребления облагаются штрафами на балансирующем рынке, что не позволяет ему менять свою нагрузку в течение суток с отклонениями от планового почасового потребления. На розничном же рынке возможность реализации стратегии активного потребителя частично существует, поскольку в тарифном меню присутствуют зонные тарифы, стимулирующие энергосбережение, и сглаживание графиков потребления. Кроме того, существуют потребители, использующие интервальные системы учета. Реализацию стратегии активного потребителя сдерживает отсутствие методики определения тарифов на передачу и распределение электрической энергии в зависимости от загруженности пропускной способности сети в текущий момент времени. Рассматривая тариф на инфраструктурные услуги можно сделать вывод, что возможность

реализации стратегии активного потребителя отсутствует, так как в настоящее время к инфраструктурным услугам относятся только услуги коммерческого и технологического операторов, и не относятся услуги по регулированию нагрузки, по предотвращению аварий, по регулированию частоты и активной мощности и т.д. [596].

То есть проблемы потребления, в том числе коммунального энергоснабжения, стали «внешними» для энергетики [34,71]. Не изменилась ситуация и с внесением в 2016 г. поправок в 35 ФЗ «Об электроэнергетике, в частности изменения определения единой энергетической системы России с «совокупности производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии) и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике» на новое определение «совокупность объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, связанных общим режимом работы в едином технологическом процессе производства, передачи и потребления электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике».

Размывание системного подхода также относится к несоординированному развитию систем жизнеобеспечения, в частности к электро-, тепло-, водо-, газоснабжению [558]. Развитие энергетики в рамках действующей концепции привело к завышенным объемам энергетического строительства, энергоизбыточности, необходимости роста стоимости электроэнергии. Не только развитие, но и поддержание функционирования производственных систем энергетики предполагает ежегодный рост цен на электроэнергию, без которого устойчивое энергообеспечение без деградации состояния действующего оборудования не может быть обеспечено. Подтверждением данного факта является разработка в 2018 г. Программы модернизации объектов электрогенерации по схеме модифицированных механизмов договоров предоставления мощности (ДПМ-штрих), в рамках которой для поддержания деятельности генерирующих компаний требуется предоставление 3,5 трлн р. [480].

Причиной низкой эффективности сегодняшней энергетики является ряд дезинтегрессий, реализованных в процессе реформирования отрасли, – рассмотрение энергетического комплекса с точек зрения различных ведомственных институтов, сектор «большой энергетики» (электроснабжение и частично теплоснабжение от ТЭЦ) развивается практически без связи с системами жизнеобеспечения (электро-, тепло-, водо-, газоснабжения) муниципальных образований, отсутствуют механизмы для оптимизации использования ресурсов потребителем, особенно неквалифицированным потребителем – населением. Это свидетельствует о том, что главная черта постпереходной российской экономики – ее фрагментарность, т.е. расхождение и распад на отдельные слабо связанные фрагменты [224] в полной мере относится к системам жизнеобеспе-



чения – энергетике и ЖКХ. Они перестали быть «единым народнохозяйственным комплексом» как с точки зрения единого управления, так и системного функционирования и приобрели явные черты несистемности, фрагментарности. Не предусмотрена и по факту отсутствует координация взаимодействия не только между отдельными системами жизнеобеспечения, но и в рамках одной подотрасли. Например, в электросетях возникают ситуации, когда подстанции и ЛЭП Единой национальной сети построены, а строительство соответствующих распределительных сетей задерживается. Введенные объекты долгие годы не используются на полную мощность [293]. Даже в Москве встречаются ситуации, когда нагрузка новых подстанций не превышает 7%. Это большие новые подстанции, стоимость которых сотни миллионов рублей. По стране таких подстанций тоже хватает. Местными органами власти утверждались инвестиционные программы и строились подстанции, которые никому не нужны [217, 336]. Данный факт является следствием отсутствия корпоративной ответственности электроэнергетических компаний в регионе за результат и последствия инвестиционных решений. Это проявляется в увеличении количества проектов, имеющих сомнительную эффективность [351]. Например, при обследовании сетей 110 кВ ОАО «МРСК Сибири» [382] было выявлено, что только 3,6% линий имеют нагрузку более 70% допустимой. Нагрузку менее 10% имеют 24% линий, менее 20% – 55%; нагрузку менее 30% – 77% линий. Средняя загрузка трансформаторов – 45% номинала. Согласно [384], в сельских распределительных сетях Вологодской области для 130 трансформаторных подстанций с мощностью трансформаторов до 630 кВА среднемесячный коэффициент загрузки не превышал 0,2 в 86% случаев. Учитывая сезонность сельскохозяйственных производств, максимальные среднемесячные коэффициенты загрузки в 67% случаев не превышали 0,2 и 0,3 в 89% случаев, что приводит к высокой доле потерь электроэнергии в распределительных сетях, в том числе в результате значений реактивной составляющей мощности значительно больших нормативных показателей и, как следствие, низкой экономической эффективности работы электросетевого хозяйства.

На основе подходов в рамках действующей концепции развития энергетики обеспечение качества энергоснабжения, необходимого для неоиндустриализации даже в условиях фактического двукратного сетевого резервирования, возникшего в результате снижения потребления в расчетных узлах нагрузки преимущественного промышленного потребления, которое в итоге послужило одной из причин роста стоимости электроэнергии в России, оказалось нерешаемой задачей. Поэтому увеличение кратности резервирования за счет развития электрических сетей и строительства новых электростанций в условиях территориальной протяженности страны приведет к дальнейшему росту стоимости электроэнергии, а не к повышению эффективности энергоснабжения.

Для фрагментарной экономики характерны и низкий уровень взаимного доверия агентов, и вытекающая отсюда несклонность к долговременным инвестициям. В такой экономике низка эффективность использования всех видов ресурсов, поскольку фрагментарность препятствует их перетоку в точку наивысшего спроса, для нее непригодна концепция «точек роста», или «полюсов роста», как локомотива экономической динамики. Это обстоятельство снижает ценность локальных проектов и затрудняет переход к так называемой проектной экономике [224].

Причем проблема заключается не в недостаточном внимании к вопросам повышения энергоэффективности, а во фрагментарном подходе и, как следствие, отсутствию общих принципов, обеспечивающих гармонизацию отношений потребителей и систем жизнеобеспечения. В рамках фрагментарного подхода в стратегическом аспекте энергетическая безопасность Российской Федерации не может быть обеспечена в полной мере. Не предусмотрена и по факту отсутствует координация взаимодействия как между отдельными системами жизнеобеспечения, так и в рамках отдельно взятых подотраслей энергетики и ЖКХ. Единая система энергоснабжения, формируемая на протяжении десятилетий на принципе опережающего развития ТЭК в условиях заниженной стоимости топлива, способствовала переходу на второй план вопросов оптимизации использования энергии потребителем. Переход от вертикально интегрированной энергосистемы к послереформенным отношениям субъектов энергетики и потребителей усугубил проблемы обеспечения качества энергоснабжения [558] и привел к обострению противоречий, а в ряде случаев – несовместимости целей потребителей, сбытовых организаций, сетей, генерирующих компаний и т.д.

Фрагментарный подход к системе энергоснабжения препятствует повышению эффективности использования уже действующего оборудования. Можно сколь угодно долго обсуждать термины «установленная мощность», «номинальная мощность», «располагаемая мощность», «максимальная мощность», «предельная мощность», «проектная мощность», «теплофикационная мощность», «мощность при нормальных условиях по ИСО» и т.п. При этом не следует забывать одно – крайне важно прежде всего то, на что способен конкретный энергоблок в данный момент времени для удовлетворения потребностей ОАО «СО ЕЭС» с точки зрения обеспечения системной надёжности, поддержания частоты, участия в регулировочном диапазоне нагрузок и способности участия установки в локализации аварийных режимов в энергосистеме. Иллюстрацией являются следующие примеры. Энергоблок № 2 Калининградской ТЭЦ-2 в зависимости от внешних условий (например, в зимний период) способен брать (и фактически брал) нагрузку 470 МВт, т.е., значительно превышающую номинальное значение. Другие энергоблоки парогазовых установок (ПГУ) в исправном состоянии способны также брать нагрузку, превышающую номинальную. С точки зрения оказания системных услуг (особенно в аварийных ситуациях) ОАО «СО ЕЭС» –

это как раз то, что нужно. Однако, своими действиями (ограничивая установленную мощность энергоблока №2 Калининградской ГРЭС величиной 425 МВт) ОАО «СО ЕЭС» юридически и административно ограничивает потенциальные возможности участия энергоблока как в обеспечении надёжности энергосистемы, так и в улучшении ТЭП энергоблоков, ТЭС и отрасли в целом.

В табл. 2.1 в качестве примера приведены режимы работы гипотетической ТЭЦ (аналог московской ТЭЦ-27 с двумя энергоблоками ПГУ-450 (2хГТЭ-160+Т-150-7,4 в составе каждой ПГУ), пятью водогрейными котлами КВГМ–180 и для удобства без 2хПТ-80-130) с нормальными по диспетчерскому графику и диаграмме режимов ПГУ-450 электрической и тепловой нагрузками и аварийным режимом при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нв}} = -25^{\circ}\text{C}$ , когда по условиям работы энергосистемы требуется взятие электрической нагрузки сверх номинального значения.

Таблица 2.1

***Режимы работы гипотетических ТЭЦ***

$t_{\text{нв}} = -25^{\circ}\text{C}$	Нормальный режим по диспетчерскому графику		Аварийный режим	
	$N_{\text{эл}}$ , МВт	$Q_{\text{т}}$ , Гкал/ч	$N_{\text{эл}}$ , МВт	$Q_{\text{т}}$ , Гкал/ч
2хПГУ-450	850	500	940	0
5хКВГМ-180	–	0	–	500

Подход ОАО «СО ЕЭС» по занижению установленной мощности ПГУ подталкивает техническое руководство ТЭС к самоустранению и безразличию в обеспечении системной надёжности и экономичности работы оборудования. Так, например, если по условиям обеспечения системной надёжности потребуется хотя бы на несколько минут увеличить нагрузку энергоблока сверх номинального значения, главный инженер и (или) начальник смены электростанции могут отказать системному оператору в этом требовании и при этом формально и юридически будут правы. Таким образом, действия ОАО «СО ЕЭС» идут вразрез с его же функциональными обязанностями по обеспечению системной надёжности [294].

Аналогично мощность газотурбинной установки (ГТУ) номинальной мощностью 110 МВт при  $-30^{\circ}\text{C}$  составляет 133 МВт, что делает правомочным постановку вопроса об увеличении возможности регулирования нагрузки с ее помощью при отрицательных температурах.

Таким образом, в России в результате постепенного размывания системного подхода при организации производства систем жизнеобеспечения сформировалась совокупность самостоятельно действующих систем, повышающая риски и замедляющая развитие экономики. Каждый из хозяйствующих субъектов функционирует в состоянии с его точки зрения близком к экономически оптимальному. Об этом свидетельствуют ряд работ А.А. Богданова [120] и А.А. Салихова [152], в которых подробно изучены вопросы выхода потребителей из зон теплоснабжения ТЭЦ в результате пе-

рехода на автономные «высокоэффективные» котельные. Данные о распределении финансирования в энергетике показывают, что приоритет отдается:

- в генерации: мероприятиям, улучшающим показатели работы действующих и строительству новых крупных источников,
- в сетях: развитию сетей высокого напряжения, а не наиболее проблемному, узкому месту – распределительным сетям, на которые приходится основная доля потерь электроэнергии.

При этом вне сферы интересов оказываются именно те структуры российской энергетики – коммунальные и промышленные энергоисточники, тепловые и распределительные электрические сети, энергопотребляющие технологии и устройства, которые находятся в особо тяжелом положении. В итоге остается не в полной мере решенным вопрос обеспечения качественным энергоснабжением, позволяющим обеспечить бесперебойную работу современного оборудования, особенно в российской глубинке. Дополнение организационно-экономических организационно-техническими механизмами [587] – путь совершенствования этих структур с целью снижения социальной напряженности в обществе и основной резерв повышения эффективности российской энергетики. Другими словами, только на основе системно-комплексного подхода к развитию производственных систем энергетики можно получить необходимые результаты, включая и решение острейшей инвестиционной проблемы [34, 564].

Следствием дезинтegrаций ранее неразрывно связанных комплексов является их расхождение, и в соответствии с общей тектологической закономерностью по линии образование новых границ происходит проникновение влияния внешней среды. Фрагментарный подход не только приводит к неоправданно высоким капитальным вложениям в системы жизнеобеспечения, но и оказывает селективное влияние на социально-экономическое развитие регионов Российской Федерации. Для анализа данного утверждения был выбран 2011 г., так как в этом году потребление электроэнергии сравнялось с уровнем 1990 г. (рис. 2.1–2.13 построены на основе обработки данных Федеральной службы государственной статистики [462]).

Диаграмма (рис. 2.2) построена в координатах объем электропотребления – изменение электропотребления в 1990–2011 гг. На ней представлены все российские регионы. Энергоизбыточные (под которыми будем понимать экспортирующие за пределы региона электроэнергию) обозначены прямоугольниками. Не экспортирующие за пределы региона электроэнергию нанесены треугольниками (будем далее называть их энергодефицитными). Произошло сокращение потребления преимущественно в регионах, расположенных в левой ее части, и рост в крупных. Наиболее значительное снижение (более чем на четверть) произошло в регионах с годовым объемом потребления до 10 млрд кВт·ч. Ранее данный факт был установлен в работе [461], автором которой был сделан вывод, что «сохранение тенденции роста электропотребления первых 10% реги-

онов и дальнейшее обнищание 10% беднейших приведет к распаду государства». Далее проведено рассмотрение причин для составления столь пессимистичного прогноза.

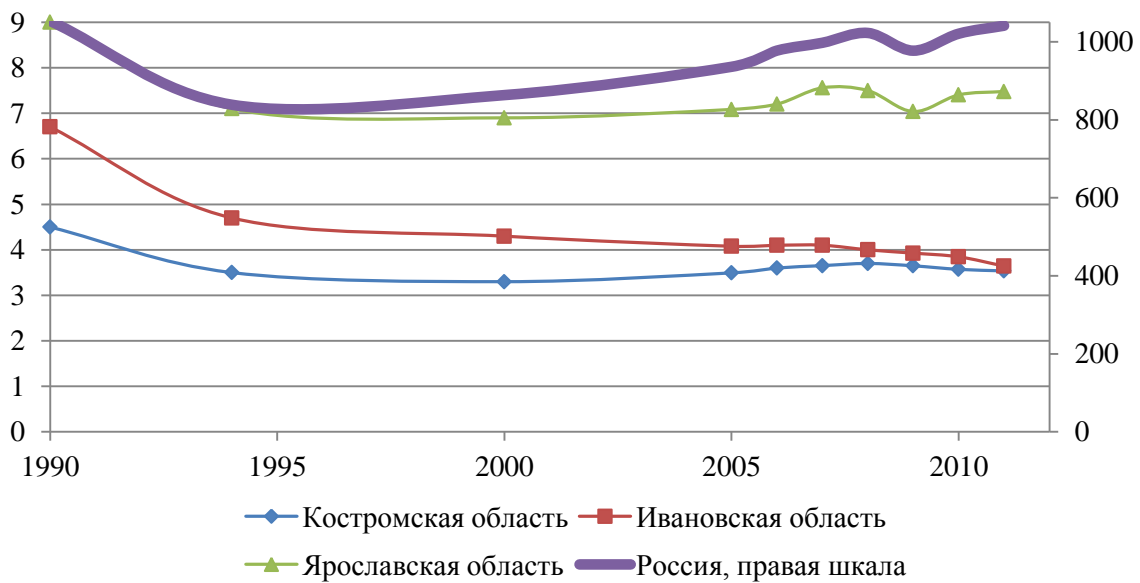


Рис. 2.1 Динамика потребления электроэнергии 1990–2011 гг., млрд кВт·ч/год

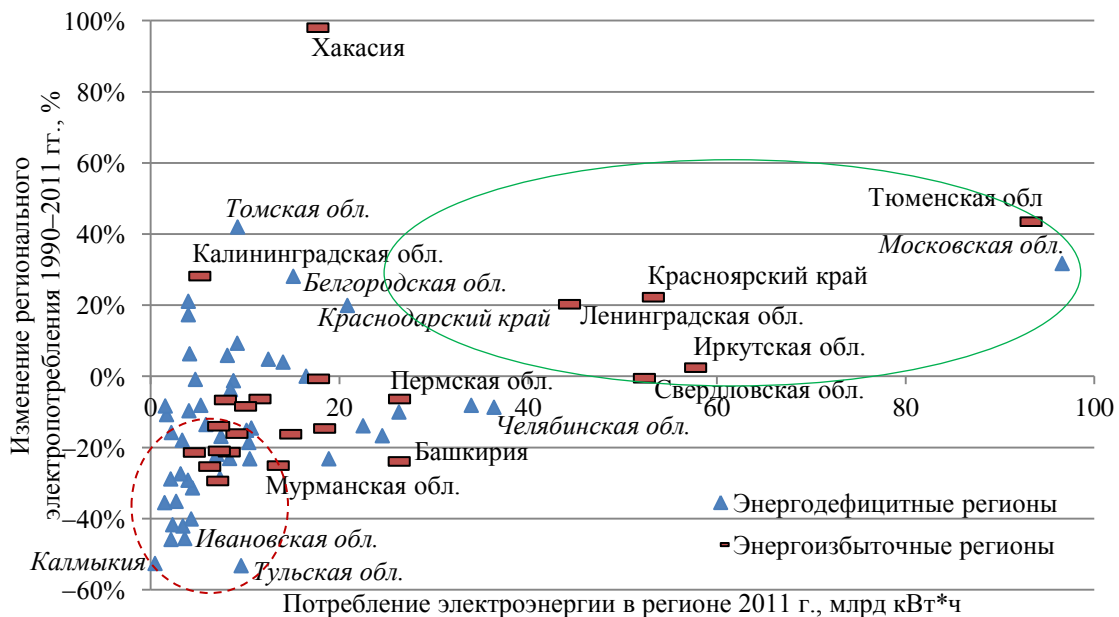


Рис. 2.2. Изменение регионального электропотребления 1990–2011 гг. (объем электропотребления 2011 г., млрд кВт ч/год; его изменение, %)

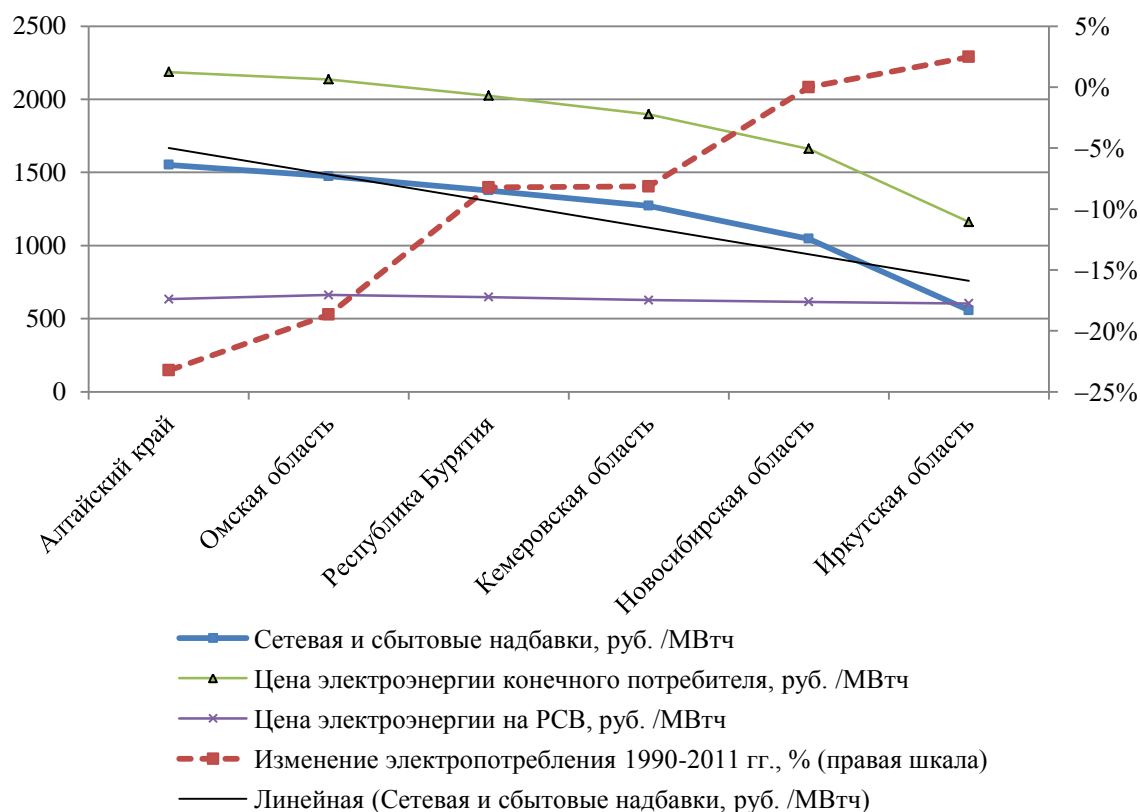
Как показано в [108] электрические сети и генерация могли в большинстве регионов обеспечивать двукратное отклонение по нагрузке без системных ограничений. Но, несмотря на этот двойной запас (оплачиваемый в итоге потребителем), они оказались плохо приспособленными к рынку. Дело в том, что раньше потоки электроэнергии по стране были планово заданными. Априори директивно создавали источники,

строили сети, при этом мощность генерации выбирали по оптимуму удельного расхода топлива на единицу выработанной электроэнергии. Изменение структуры экономики (сокращение промышленного производства, снижение энергоемкости ВВП, перераспределение населения из малых городов и сельских поселений в крупные мегаполисы и ряд других процессов) привело к недогруженности сетей, росту потерь холостого хода в трансформаторных районных подстанциях. Как следствие происходит снижение нормативных значений  $\cos\phi$ , рост сетевых потерь, разбалансирование работы региональных сетевых компаний. Существующие принципы проектирования и строительства главных понизительных подстанций предприятий оказались не соответствующими новым рыночным отношениям, приведя к фактической их загрузке существенно меньше 70% (установленных нормами), а в отдельных случаях – к загрузке трансформаторов на уровне 15–20%. Совершенно неясно, что делать с нынешним возможным двукратным запасом по районным подстанциям и сетям, по главным понизительным подстанциям и внутригородским магистральным сетям, по системным линиям ФСК. Одновременно не удовлетворяются требования потребительского рынка в той или иной точке системы. В качестве общего вывода можно сказать, что потокораспределение по сетям плановое, существовавшее ранее и нынешнее рыночное, организуемое сейчас, не эквивалентны. В итоге происходит рост издержек энергообеспечения, пропорциональный отклонениям режимов работы сетевой инфраструктуры от проектных значений.

В региональном разрезе по мере роста отставания от изначально заложенных в плановой экономике и приближенных к оптимуму параметров энергосистемы потери в сетях будут иметь бóльшие значения и, как следствие, определять более высокие затраты на электрообеспечение. А в условиях расчета тарифов региональных сетевых компаний на основе экономически обоснованных затрат сетевая составляющая в стоимости электроэнергии потребителя в этих регионах будет расти еще быстрее. Отсюда вовсе не следует, что в увеличивших потребление регионах сети оптимальным образом соответствуют сегодняшним потребностям экономики и работают в проектных режимах, что доказывает вышеприведенный пример Вологодской области, где произошел прирост потребления электроэнергии в 1990–2011 гг. на 4%. В регионах, где произошли более значительные отклонения объемов электропотребления в отрицательную сторону (например, в Тульской области снижение на 53%) от изначальных проектных значений (расположены в нижней части рис. 2.2), отмеченная закономерность проявляется в бóльшей степени.

На рис. 2.3 расположены все не увеличившие объем электропотребления регионы II ценовой зоны (Сибирь). Пунктирная линия (правая шкала) показывает относительную величину снижения потребления. Для каждого региона представлена цена электроэнергии на оптовом рынке на сутки вперед (РСВ) по состоянию на январь

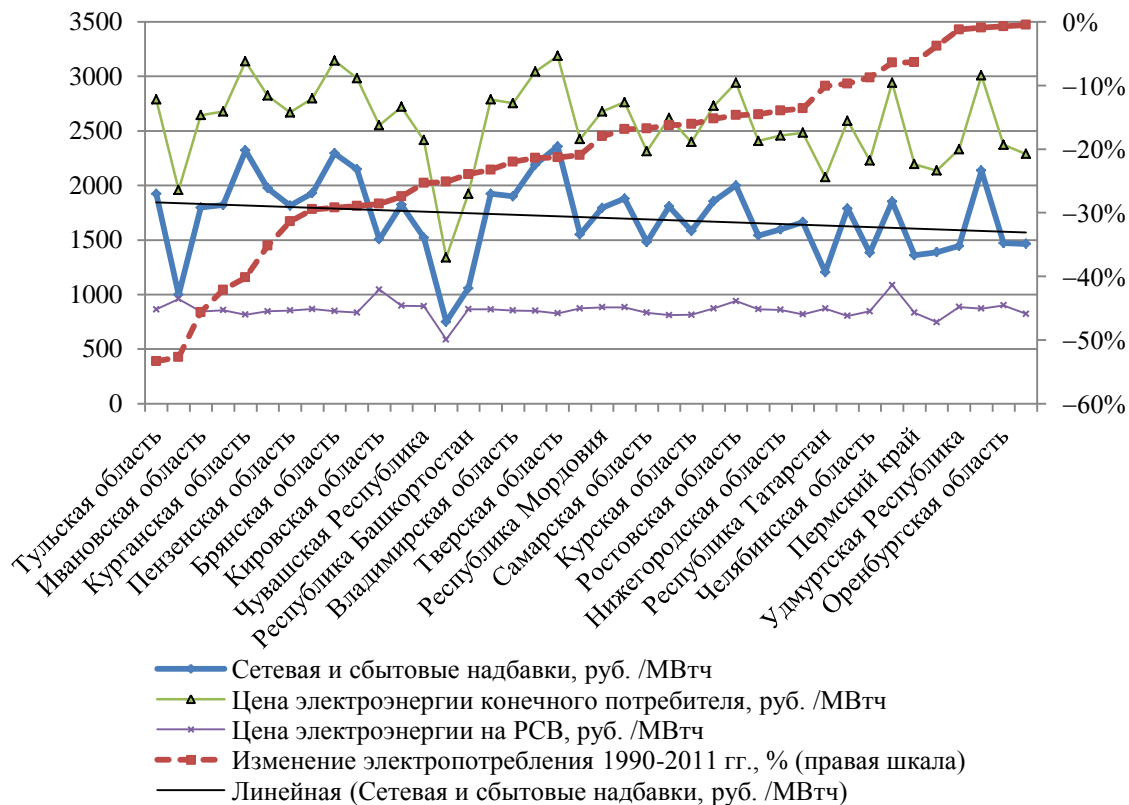
2012 г., фактическая среднеотпускная цена электроэнергии для потребителей на территории обслуживания гарантирующего поставщика и суммарная величина сетевой, сбытовой и прочих составляющих в стоимости электроэнергии (источник данных [171]).



**Рис. 2.3. Взаимосвязь изменения электропотребления в 1990–2011 гг. и величины сетевой и сбытовой надбавки для II ценовой зоны**

В итоге происходит сокращение составляющей цены для потребителя, не связанной с генерацией, а определяемой издержками преимущественно сетевого комплекса (цена электроэнергии на оптовом рынке с точностью до 10% не зависит от региона в пределах единой ценовой зоны). Издержки передачи (включая многократные трансформации напряжения при условии далеко не расчетных нагрузок трансформаторов) в большинстве регионов определяют стоимость электроэнергии у потребителя на 60-70% (а в некоторых на 74%) [171].

Указанная закономерность также наблюдается для регионов I ценовой зоны (Европейская часть России и Урал). На рис. 2.4 представлены все регионы I ценовой зоны, снизившие электропотребление за рассматриваемый период, за исключением республик Северного Кавказа, регулируемых Постановлением Правительства РФ от 2 декабря 2010 г. № 1172 «Об особенностях функционирования оптового и розничных рынков». В этих регионах также происходит снижение сетевой составляющей в цене электроэнергии по мере меньшего отклонения объемов потребления региона от расчетного на 1990 г. электропотребления.



**Рис. 2.4. Взаимосвязь изменения электропотребления в 1990–2011 гг. и величины сетевой и сбытовой надбавки для I ценовой зоны**

Приведенные данные позволяют сделать вывод о наличии системы с положительной обратной связью: регионы в наибольшей степени снизившие объем электропотребления объективно имеют более высокие сетевые потери, обусловленные значительным отклонением существующих режимов работы электросетевого комплекса от изначальных проектных, в итоге – более высокие удельные издержки. В рамках методики расчета тарифов «затраты+» это определяет более высокие тарифы на передачу электроэнергии. Поэтому вне зависимости от цен на оптовом рынке потребители получают электроэнергию по более высокой цене по сравнению с регионами, абсолютные значения потребления которых находится вблизи проектных значений. Согласно исследованиям Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, увеличение стоимости электроэнергии на 1% сверх уровня инфляции приводит к замедлению социально-экономического развития на 0,06–0,2% в год.

Таким образом, оказалась сформирована система, приводящая к дальнейшему уменьшению темпов экономического развития депрессивных регионов (в первую очередь расположенных внутри пунктирной окружности на рис. 2.2). В регионах, снизивших объемы потребления энергии, будет прогрессировать отставание от среднероссийской динамики электропотребления и соответственно от среднероссийских темпов экономического развития. Причем сегодняшний механизм тарифообразования



обеспечивает прогрессирование отставания пропорционально относительной величине существующего снижения электропотребления.

Данное утверждение имеет особую актуальность при энергообеспечении небольших удаленных потребителей. Например, в Алтайском крае в 539 малых поселениях, где проживает около 52 тыс. чел., значительное количество мелких потребителей со среднегодовой мощностью потребления менее 10 кВт, которая обеспечивается сетями длиной до 70 км (рис. 2.5). К прямым затратам по прокладке таких сетей добавляются полноразмерные расходы по их эксплуатации [113]. Потери в столь протяженных маломощных линиях превышают объемы потребляемой энергии, а трансформаторные мощности зачастую загружены в пределах 10%, вопросы компенсации реактивной мощности, как правило, не решены. Таким образом, существующая технология электроснабжения на основе радиальных не резервированных цепей 6–10 кВ недостаточно надёжна, требуется повышенных затрат материальных и трудовых ресурсов на ее создание и эксплуатацию. При этом 70 км далеко не предельная длина ЛЭП. В [501] приведен пример электроснабжения по фидеру 10 кВ длиной 160 км.



**Рис. 2.5. Пространственное распределение электропотребления в Алтайском крае 2009 г. (точками обозначены поселения)**

Как было показано в [192], аналогичный экономический механизм определяет замедление развития небольших муниципальных образований по сравнению с крупными городами. Величины тарифов на услуги теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения определяются издержками производства соответствующей услуги, а сформировавшаяся система тарифообразования не стимулирует их снижение. В малых населенных пунктах такие удельные показатели, как длина сетей, количество сотрудников ресурсоснабжающего предприятия на тысячу жителей, расход первичных энер-

горесурсов на единицу отпускаемой продукции (Гкал, м<sup>3</sup> воды и т.д.) выше, чем в крупных городах. В результате величины тарифов в среднем имеют более высокие значения в малых городах, поселках городского типа и сельских поселениях, чем в крупных городах. Дополнительный вклад в снижение стоимости энергоснабжения в крупных городах вносит уменьшение издержек в результате комбинированного производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ. Тарифы на тепло, отпускаемое ТЭЦ, значительно ниже, чем вырабатываемое в котельных. Анализ деятельности систем тепло и водоснабжения, а также водоотведения населенных пунктов Российской Федерации показал, что действующая сегодня система тарифообразования ЖКУ оказывает существенное влияние на долгосрочное развитие страны (Приложение № 1). Одной из причин перераспределения человеческих ресурсов из малых городов, поселков городского типа, сельских поселений в крупные мегаполисы является более высокая стоимость оплаты ЖКУ в малых населенных пунктах. Действующая система перерасчета тарифов методом индексации с течением времени ведет к более высокой дифференциации стоимости проживания в малых и крупных населенных пунктах.

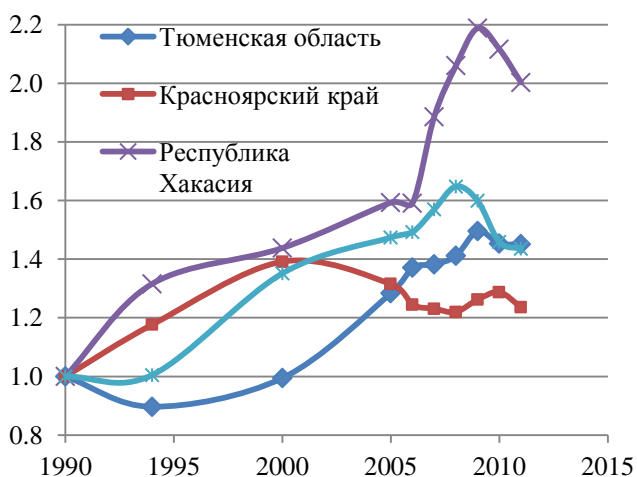
На протяжении десятилетий развития плановой экономики существовало обоснованное еще в период индустриализации, сопровождаемой ростом электропотребления, утверждение о первоочередности развития энергетических мощностей.

После 2003 г. это утверждение трансформировалось в необходимость достижения региональной энергетической самообеспеченности и последующего деления регионов на энергоизбыточные и энергодефицитные, затем построение рейтингов энергообеспеченности и т.п. В результате стало аксиомой утверждение: «энергодефицитность региона является причиной замедления экономического развития» и, соответственно, для ускорения регионального развития необходимо минимизировать закупку электроэнергии от источников вне региона. В итоге обосновывается необходимость инвестиционных программ по созданию новых генерирующих мощностей. В частности, согласно [40], индикатором энергетической безопасности является ликвидация дефицита и поддержание устойчивого резерва электро- и теплогенерирующих мощностей.

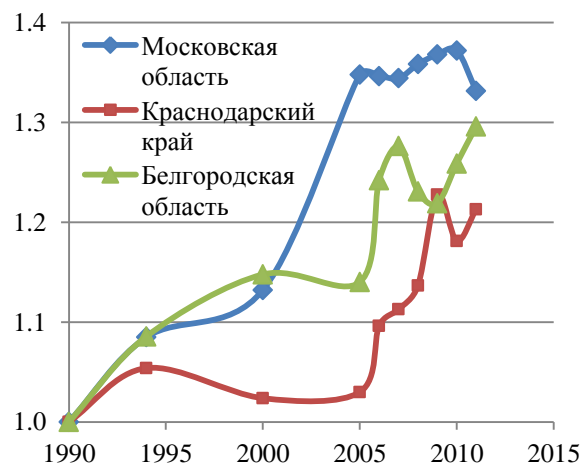
Однако энергоизбыточность региона вовсе не определяет положительную динамику экономического развития. Для обоснования этого утверждения на рис. 2.6–2.13 представлено изменение регионального электропотребления. За единицу принято потребление электроэнергии региона в 1990 г., и показано его последующее изменение за вычетом среднероссийской динамики электропотребления (рис. 2.1). То есть электропотребление каждого региона для каждого года нормировано на электропотребление России соответствующего года (в результате электропотребление России на рис. 2.6–2.13 равняется единичной константе). Таким образом, из динамики каждого региона вычтен общероссийский тренд, сформированный сокращением промышлен-

ного производства 1990-х гг., «тучными» годами экономических подъемов, экономическим кризисом 2008 г. и пр. В результате показаны относительные изменения электропотребления каждого региона, на основе которых сделаны выводы для дальнейшей дискуссии, и в случае подтверждения их правомерности, желательно учитывать при внесении корректировок в региональные и муниципальные программы комплексного развития.

Рост электропотребления Тюменской, Красноярской, Томской областей и республики Хакасия (рис. 2.6) обусловлен развитием преимущественно сырьевого сектора экономики и первичного передела природных ресурсов. Увеличение потребления сопровождалось вводом новых энергетических мощностей, предназначенных для электроснабжения конкретных промышленных потребителей (Хакасский алюминиевый завод (2007 г.), освоения новых месторождений углеводородов и покрытия растущих удельных расходов электроэнергии при эксплуатации действующих. При этом энергодефицитность Томской области, генерация которой в первом полугодии 2011 г. обеспечивала только 53,6% регионального электропотребления, не являлась препятствием для опережения ею среднероссийского уровня электропотребления на 44%.



**Рис. 2.6**



**Рис. 2.7**

Рост электропотребления Москвы и Подмосковья (рассматриваются совместно как Московская область), Белгородской области и Краснодарского края также не обеспечивался их энергоизбыточностью (рис. 2.7). По мере экономического развития этих регионов вводились и вводятся новые энергетические мощности.

Преобладание сырьевого сектора экономики и отсутствие дефицита энергетических мощностей не явились достаточными условиями для опережающего развития Мурманской, Магаданской и Камчатских областей (рис. 2.8), где отрицательные демографические показатели привели к сокращению потребления электроэнергии на 24, 44 и 10% соответственно.

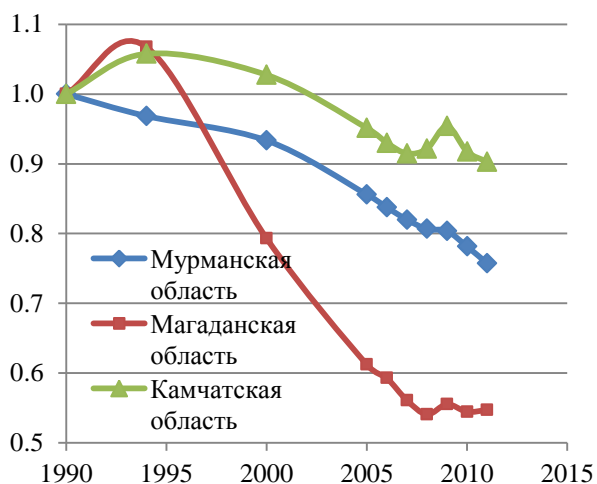


Рис. 2.8

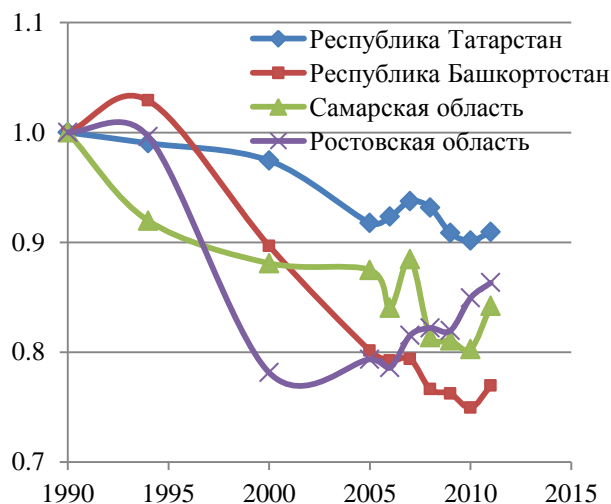


Рис. 2.9

Отсутствие сокращения численности населения, наличие избыточных энергетических мощностей (в том числе введенных в рассматриваемый период) и значительный стартовый промышленный потенциал к началу становления рыночных отношений не обеспечили Ростовской, Самарской областям, республикам Татарстан и Башкортостан условий для опережения среднероссийского уровня электропотребления (рис. 2.9).

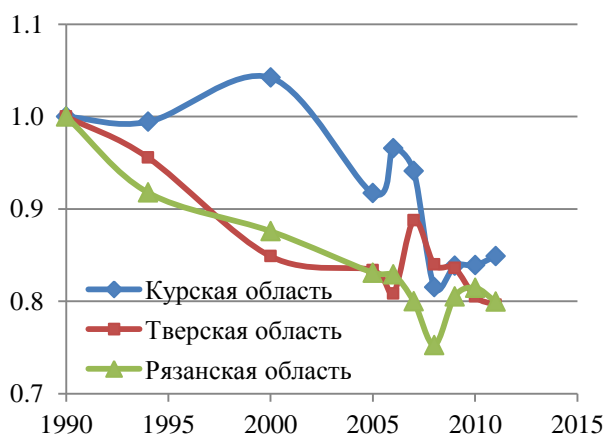


Рис. 2.10

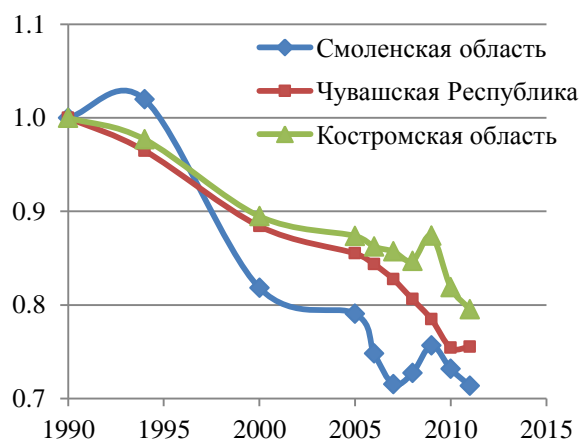
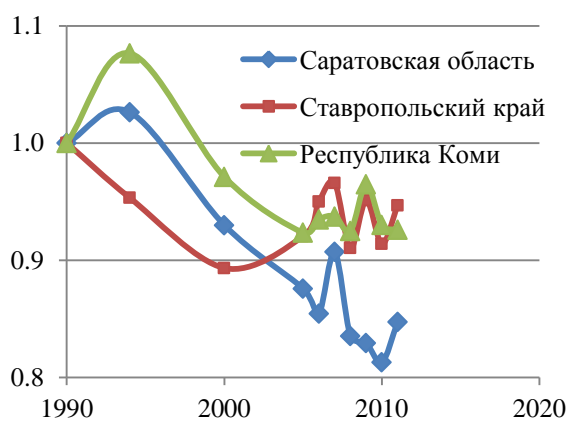


Рис. 2.11

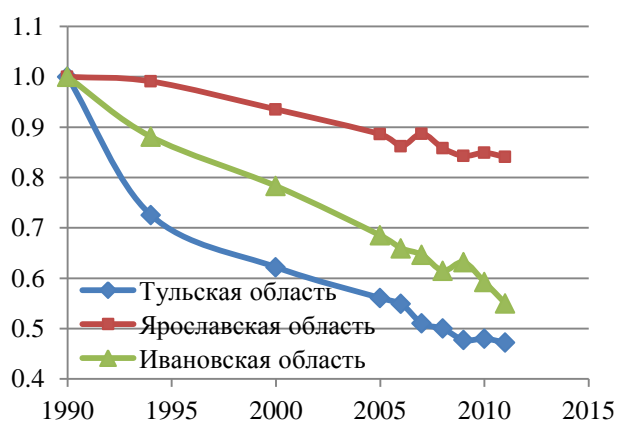
Завершим иллюстрацию отсутствия взаимосвязи закупки региональной энергосистемой электроэнергии вне региона и положительной динамики экономического развития на примерах Курской, Тверской, Рязанской, Смоленской, Костромской, Саратовской областей, Коми и Чувашской республик, Ставропольского края (рис. 2.10–2.12). Энергоизбыточность перечисленных регионов обеспечивает отсутствие импорта электроэнергии региональными энергосистемами, но не является достаточным условием опережения регионального электропотребления среднероссийского уровня.

Все энергоизбыточные регионы (на рис. 2.2 отмечены прямоугольниками) с потреблением электроэнергии менее чем в Ленинградской области в сумме с Санкт-Петербургом (43,6 млрд кВт·ч) продемонстрировали за период становления рыночных

отношений отрицательную динамику (рис. 2.6–2.12). Исключениями являются Калининградская область и республика Хакасия. Нетипичная для России динамика Хакасии, более чем в два раза опережающая другие наиболее успешные регионы, где произошел рост электропотребления, объясняется вводом в эксплуатацию в 2007 г. Хакасского алюминиевого завода.



**Рис. 2.12**

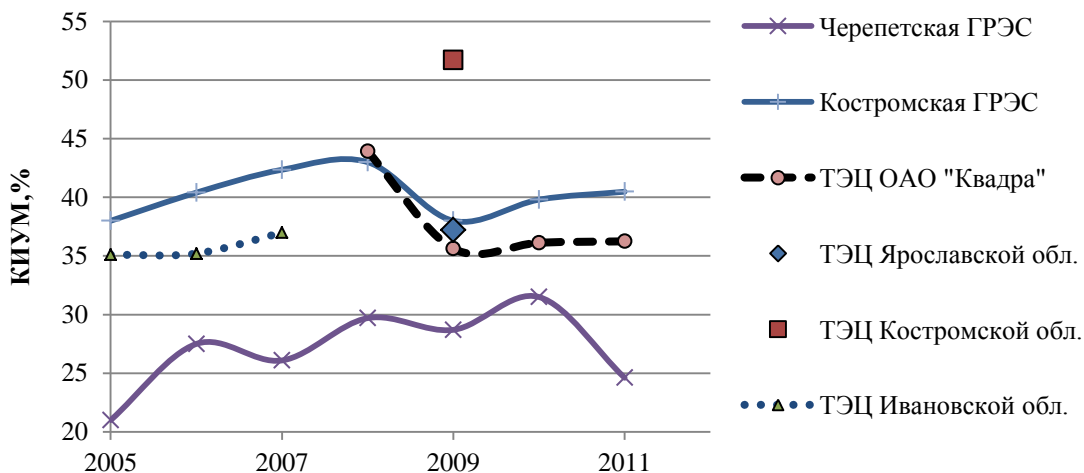


**Рис. 2.13**

Еще один факт, требующий учета при разработке региональных программ социально-экономического развития заключается в следующем: закупка электроэнергии регионом вовсе не свидетельствует о его энергодефицитности и, как следствие, необходимости строительства новых генерирующих мощностей. На протяжении последних двадцати лет из факта превышения потребления электроэнергии в регионе над объемом ее производства делался вывод об энергодефицитности региона и необходимости строительства дополнительных энергетических мощностей.

На рис. 2.13 отдельно представлены регионы, максимально снизившие электропотребление в 1990–2011 гг., Тульская, Ивановская и Ярославская области. Их отдельное рассмотрение важно, так как в них отношение «производство/потребление» электроэнергии в 2011 г. составляло соответственно 62,9; 60,3 и 54,5%. То есть налицо все основания для утверждения об их энергодефицитности и необходимости срочного ввода новых генерирующих мощностей (если на рис. 2.1 для Ивановской и Ярославской областей приведены абсолютные значения электропотребления, то на рис. 2.13 те же числовые ряды нормированы к единице по состоянию на 1990 г. и из них вычтен общероссийский тренд).

Наиболее мощная электростанция Тульской области – Черепетская ГРЭС в период с 2005 по первое полугодие 2011 г. работала с коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ) ниже 30% (рис. 2.14) [460]. Столь низкий КИУМ не может быть объяснен ее высокими удельными расходами топлива на выработку электроэнергии (410–420 г у.т./кВт·ч).



**Рис. 2.14. КИУМ генерирующих мощностей, %**

Наиболее экономичные станции с удельными расходами ниже средних по энергосистеме также работают в режимах с нагрузкой ниже оптимальной, обеспечивая достижение ими своих проектных показателей. Например, низкие удельные расходы топлива на Костромской ГРЭС (305–310 г у.т./кВт·ч [460]), которые на 9% ниже средних значений в энергосистеме (333–334 г у.т./кВт·ч), не являются основанием для максимизации загрузки ее оборудования. Костромская ГРЭС – одна из самых современных электростанций Российской Федерации: состав оборудования 8 блоков 300 и 1 – 1200 МВт. Однако КИУМ станции составляет только 40% [460] (рис. 2.14), что в два раза меньше достижимого в случае постановки задачи оптимизации расходов на выработку электроэнергии в целом по энергосистеме.

Таким образом, при системном подходе следует скорректировать понимание энергодефицитности Ивановской и Ярославской областей, фактически составляющих вместе с Костромской областью Верхневолжскую агломерацию. (Ярославская область изображена на рис. 2.13 и рассматривается совместно с Ивановской, и три области представлены на рис. 2.1). Соответственно к вопросу ввода новых энергетических мощностей в этих регионах целесообразно вернуться после повышения эффективности работы до уровня проектных показателей Костромской ГРЭС и региональных ТЭЦ, загрузка которых также далека от оптимальных значений:

- 751 МВт (э) установленной мощности Ярославских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 обеспечили полезный отпуск электрической энергии в 2009 г. – 2445 млн кВт·ч (КИУМ 37,2%);
- 224 МВт (э) Костромской области (Костромская ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Шарьинской ТЭЦ) – 1015 млн кВт·ч (КИУМ 51,7%) [460];
- 523 МВт (э) Ивановских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 выработали в 2005–2006 гг. 1600, а в 2007 г. – 1700 млн кВт·ч (КИУМ 35 и 37% соответственно) [460].

Аналогично, потенциал комбинированного производства тепла и электроэнергии на ТЭЦ Тульской области, входящих в ОАО «КВАДРА», используется не в полной мере (средняя величина КИУМ менее 37% [460] (рис. 2.14)). Поэтому сложно опровергнуть факт, что снижение потребления электроэнергии в Тульской области – регионе, к сожалению лидирующему по данному показателю, обусловлено вовсе не возможностью региональной энергосистемы увеличения объемов генерации, а рядом причин, определяющих работу ее потребителей. Среди этих причин назовем наиболее характерные для всех регионов, пусть в меньшей степени, чем Тульская область снизивших объемы электропотребления:

- сокращение производства на высокотехнологичных предприятиях (в первую очередь военно-промышленного комплекса);
- моральный износ промышленных предприятий и потеря их продукцией конкурентоспособности, в том числе из-за высокой стоимости электроэнергии (при этом создание собственной генерации является одной из немногих действенных возможностей снизить издержки энергоснабжения);
- рост издержек добычи природных ископаемых по мере выработки месторождений наиболее обжитой территории.

Таким образом, *величину загрузки энергетических мощностей определяет не способность энергосистемы производить электроэнергию и не структура мощностей, а возможность равномерного потребления энергии экономикой государства.* Для аргументации утверждения кроме рассмотренных выше территорий ниже приведены примеры регионов, где прирост энергетических мощностей имеет максимальную относительную величину:

- ввод в эксплуатацию в 2007 г. Бурейской ГЭС с годовой выработкой 5 млрд кВт·ч привел к увеличению производства электроэнергии в регионе до 13,5 млрд кВт·ч, но изменил объем потребления электроэнергии 1990–2011 гг. Амурской области только на 4% (с 7,1 млрд до 7,4 млрд кВт·ч);
- увеличение мощности Калининской АЭС не привело к возврату электропотребления Тверской области до значений 1990 г. (9,2 млрд кВт·ч), и совокупность региональных потребителей определили стабилизацию электропотребления в 2006–2011 гг. на уровне 7,2 млрд кВт·ч (снижение на 21% (Рисунок 2.10));
- аналогичное утверждение можно сделать и относительно Ростовской АЭС в Ростовской области: в 1990–2011 гг. произошло снижение электропотребления на 14% (с 20,3 млрд до 17,3 млрд кВт·ч (рис. 2.9)) несмотря на рост мощности в регионе.

### ***2.3. Результативность действующих экономико-организационных механизмов повышения эффективности энергоснабжения***

В условиях продолжающегося расхождения и нескоординированности развития энергосистемы и потребителей результативность экономико-организационных механизмов, направленных на повышение эффективности взаимодействия производителей и потребителей электроэнергии низка, что далее показано в результате анализа таких механизмов как перевод на летнее время, тарификация стоимости электроэнергии в зависимости от времени суток и маргинальное ценообразование.

Встречающиеся в современной литературе трактовки организационно-экономического или хозяйственного механизма можно свести к следующему:

- совокупность экономических структур, институтов, методов хозяйствования и форм взаимодействия хозяйствующих субъектов, служащих увязке и согласованию общественных, групповых и частных интересов и обеспечивающих функционирование и развитие экономики;
- система объективно взаимосвязанных экономических рычагов, средств, стимулов, методов и инструментов управления экономикой, основанных на экономических законах;
- способ хозяйства, имеющий специфические организационные, экономические, правовые, управленческие отношения;
- организационно-экономическое «устройство», качественно или количественно преобразующее импульсы внешней и внутренней среды в результате деятельности на основе применения форм, методов и инструментов управления различного рода процессами [584, 585, 586, 588, 612].

Организационно-экономический механизм – это совокупность систем, форм и методов экономического взаимодействия, позволяющая посредством новых связей согласовывать интересы разных экономических субъектов.

*1. Перевод на летнее время как пример неэффективности административно-командных механизмов в части регулирования потребления электроэнергии.*

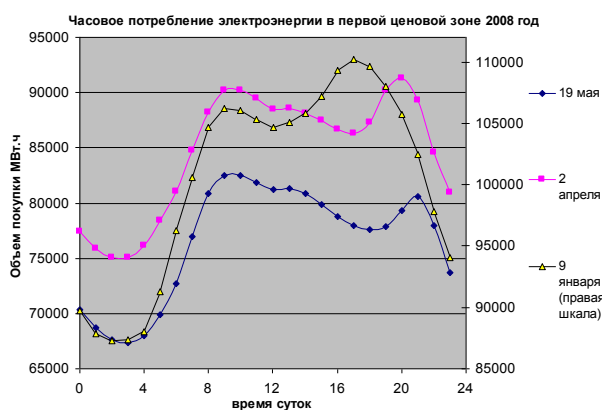
До 2011 г. 2 раза в год стрелки часов переводили на один час. В период обсуждения вопроса целесообразности отмены этого организационно-экономического механизма было проведено исследование, подтверждающее его неэффективность [544].

На рис. 2.15 построена зависимость объема покупаемой энергии от времени суток для первой ценовой зоны, включающей в себя Центр, Северо-Запад, Волгу, Урал, и для второй ценовой зоны – Сибирь. Для анализа выберем три рабочих дня 2008 г. для разных режимов на основе данных Администратора торговой системы оптового рынка электроэнергии:

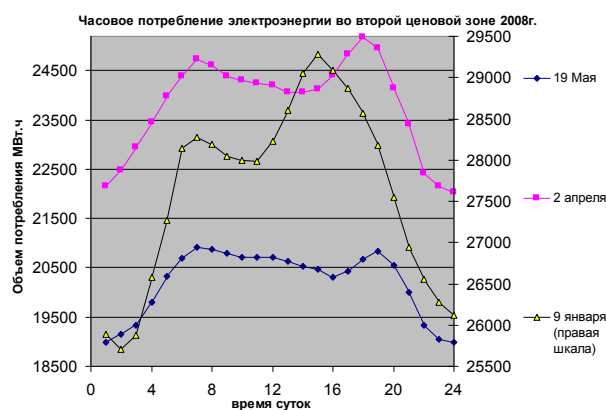


- максимум потребления при минимальной среднегодовой температуре – 9 января;
- день «межсезонья», при плюсовой средней температуре на большей части территории РФ и включенной системой отопления – 2 апреля;
- летний день с тепловой нагрузкой, определяемой ГВС и технологическими нуждами – 19 мая (рис. 2.15).

а)



б)



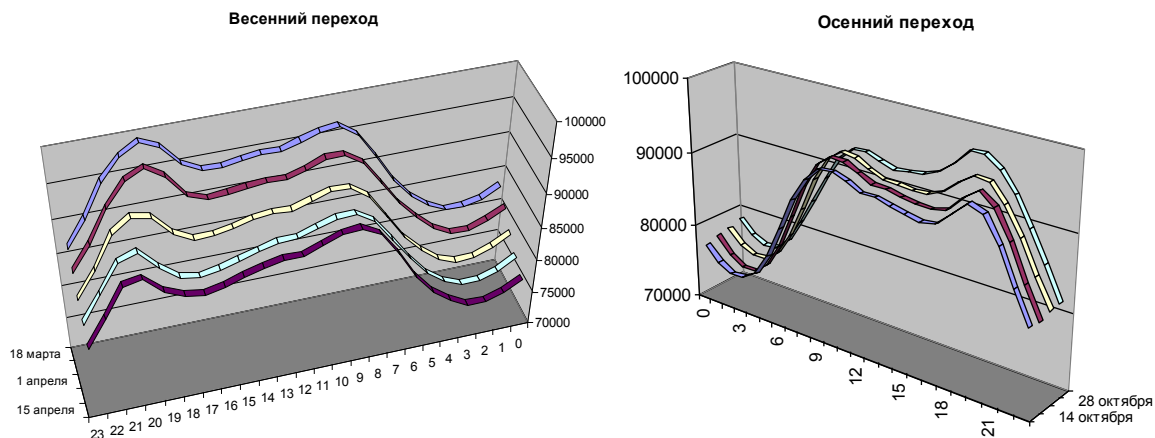
**Рис. 2.15. Графики спроса на электроэнергию в первой (а) и второй (б) ценовых зонах**

Таблица 2.2

**Потребление электроэнергии в течение часа в первой ценовой зоне МВт·ч**

Час	18 марта	25 марта	1 апреля	8 апреля	15 апреля	11 ноября	28 октября	21 октября	14 октября
0	83 434	81 944	79 734	78 134	76 635	78 817	78 178	77 825	77 305
1	81 890	80 519	78 273	76 516	75 211	76 992	76 364	75 643	75 417
2	81 417	79 604	77 309	75 661	74 294	76 182	75 484	74 516	74 403
3	81 385	79 615	77 159	75 580	74 414	76 358	75 610	74 565	74 588
4	82 561	81 025	78 100	76 702	75 809	78 032	76 961	76 124	75 671
5	84 540	83 185	80 093	78 603	77 706	81 141	80 041	79 379	78 711
6	87 415	85 872	82 749	81 454	80 656	84 636	84 216	84 007	83 047
7	91 377	89 340	86 330	84 858	84 777	88 311	88 816	88 592	87 514
8	94 878	92 747	89 823	88 206	88 273	91 421	92 013	92 005	90 669
9	96 598	94 428	91 620	89 767	89 618	93 177	93 437	93 448	92 522
10	96 313	94 433	91 721	89 656	89 368	93 318	93 216	93 350	92 757
11	95 525	93 355	90 892	88 870	88 337	92 621	92 240	92 441	92 113
12	94 750	92 551	89 989	87 947	87 302	92 012	91 425	91 552	91 099
13	94 823	92 739	90 178	87 815	87 344	92 261	91 391	91 456	91 133
14	94 478	92 455	89 846	87 186	86 793	92 588	91 127	91 011	90 657
15	94 078	92 135	89 134	86 377	86 017	93 372	91 302	90 709	90 141
16	94 136	91 875	88 641	85 602	85 103	94 927	92 078	90 613	89 727
17	95 524	92 885	88 608	85 099	84 501	97 021	93 760	91 099	90 091
18	98 298	96 081	90 002	85 571	84 976	97 143	95 108	93 180	91 942
19	99 437	97 740	92 848	87 703	86 180	95 630	94 925	94 556	93 683
20	97 964	96 577	93 378	90 423	88 635	93 237	92 737	93 045	93 054
21	95 022	93 221	91 592	89 488	88 115	89 590	89 258	89 573	89 789
22	90 355	88 663	86 859	85 395	83 927	85 746	85 070	84 840	85 296
23	86 672	85 193	83 137	81 542	79 975	81 599	81 459	80 874	81 194
Итого	2 192 867	2 148 184	2 078 014	2 024 156	2 003 964	2 116 130	2 096 216	2 084 403	2 072 524

Исследуем изменение потребления электроэнергии в первой ценовой зоне в период перехода весна–лето и лето–осень 2008 г. С этой целью построим графики потребления в рабочие дни весеннего и осеннего периода с интервалом 1 неделя (табл. 2.2, рис. 2.16).



**Рис. 2.16. Понедельное изменение спроса на электроэнергию в рабочий день в первой ценовой зоне в весенний и осенний периоды**

Мы видим увеличение потребления в осеннее время и снижение потребления весной. Для определения закономерностей изменения потребления построим величины приращений по неделям на каждый час суток. То есть построим производные потребления электроэнергии по времени для каждого часа (табл. 2.3).

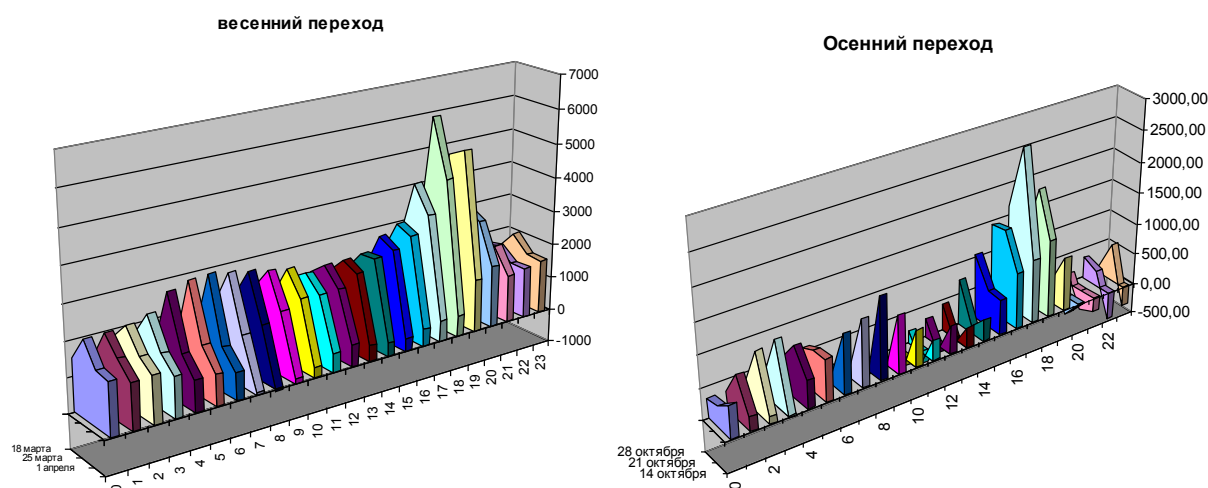
Переход на один час, как в весенний, так и осенний периоды сглаживает неравномерность роста утреннего максимума, перенося основную функцию регулирования на вечерний максимум на фоне сохраняющейся сезонной динамики потребления (рис. 2.17). Разгрузка утреннего максимума была актуальна, когда в нагрузке энергосистемы основную долю составляла нагрузка промышленности, определяющая утренний максимум. В настоящее время происходит увеличение доли бытового потребления, максимум которого приходится на вечер. По мере перехода с промышленного на бытовое потребление происходит перенос тяжести регулирования системы с утреннего на вечернее время суток, что приводит к менее равномерной загрузке генерирующих мощностей. Следствием этого является снижение коэффициента использования установленной мощности электростанций.

При этом перевод времени на один час не вносит вклад в изменение общего объема потребления, который равномерно увеличивается осенью и снижается весной. Таким образом, в современных условиях организационно-экономический механизм перевода времени на летнее время не является действенным способом повышения эффективности энергоснабжения.

**Приращение потребление электроэнергии за неделю МВт·ч**

Час	18–25 марта	25 марта–1 апреля	1–8 апреля	8–15 апреля	11 ноября–28 октября*	28–21 октября	21–14 октября
0	1490	2210	1600	1499	319,5	353	520
1	1371	2246	1757	1305	314	721	226
2	1813	2295	1648	1367	349	968	113
3	1770	2456	1579	1166	374	1045	-23
4	1536	2925	1398	893	535,5	837	453
5	1355	3092	1490	897	550	662	668
6	1543	3123	1295	798	210	209	960
7	2037	3010	1472	81	-252,5	224	1078
8	2131	2924	1617	-67	-296	8	1336
9	2170	2808	1853	149	-130	-11	926
10	1880	2712	2065	288	51	-134	593
11	2170	2463	2022	533	190,5	-201	328
12	2199	2562	2042	645	293,5	-127	453
13	2084	2561	2363	471	435	-65	323
14	2023	2609	2660	393	730,5	116	354
15	1943	3001	2757	360	1035	593	568
16	2261	3234	3039	499	1424,5	1465	886
17	2639	4277	3509	598	1630,5	2661	1008
18	2217	6079	4431	595	1017,5	1928	1238
19	1697	4892	5145	1523	352,5	369	873
20	1387	3199	2955	1788	250	-308	-9
21	1801	1629	2104	1373	166	-315	-216
22	1692	1804	1464	1468	338	230	-456
23	1479	2056	1595	1567	70	585	-320
Итого	44 683	70 170	53 858	20 192	9957	11 813	11 879

\* В связи с празднично-выходным потреблением 4–7 ноября посчитана половина от двухнедельного изменения.



**Рис. 2.17. Понедельное почасовое изменение потребления электроэнергии в рабочий день в первой ценовой зоне в весенний и осенний периоды**

По прошествии 10 лет после проведения этого анализа можно добавить следующее. Изменение в потреблении электроэнергии в двух вариантах: с переводом на летнее время и без такового происходит за счет электроэнергии, расходуемой на освеще-

щение. Действительно, моторная, термическая, гальваническая и прочие виды нагрузок никоим образом не зависят от времени восхода или захода солнца. По состоянию на момент принятия решения об изменении сложившейся практики летнего перевода часов (2010 г.) различие в весомости аргументов сторонников каждого из подходов различалось максимум на 10–20%. Соотношение сторонников и противников перехода было порядка 95/100. В качестве верхней границы различия можно принять значение 80/100. Кратного отличия в оценках не существовало, что и было причиной многочисленных дискуссий, круглых столов и т.д., в том числе и в Государственной Думе Российской Федерации. Каждый из оппонентов приводил аргументированные, научно обоснованные аргументы в пользу своей точки зрения.

Однако за десятилетие 2010–2020 гг. в результате массового распространения вначале бытовых люминесцентных, а впоследствии бытовых и промышленных светодиодных (LED) источников света потребление электроэнергии для получения эквивалентной освещенности по сравнению с лампами накаливания снизилось. Светодиодные источники света оказались эффективнее промышленных люминесцентных ламп (которые были распространены на промышленных предприятиях) в 2,5–3 раза, а ламп накаливания в 7–10 раз. Таким образом, весомость аргументов против ежегодного перевода стрелок на один час в первом приближении не претерпела изменения. В то же время значимость аргументации в пользу перевода времени девальвировалась для тех потребителей, где были распространены люминесцентные лампы в 2,5–3 раза, а для потребителей, где происходит замещение ламп накаливания на светодиодные источники света – в 7–10 раз. В итоге относительно равновесная ситуация 2010 г. сторонников и противников перехода на летнее время  $\sim 100/100$  трансформировалась в соотношение 40(33)/100 в промышленности и в 13 (10)/100 – в быту, сельском хозяйстве в пользу отсутствия необходимости сезонного перевода часов на один час.

На приведенном примере можно видеть, что параметры экономической целесообразности принятия того или иного решения могут претерпеть существенное изменение за относительно кратковременный временной интервал, многократно меньший по сравнению с периодом эксплуатации такого сравнительно простого прибора как лампа накаливания (лампочка на пожарной станции в Ливерморе (США, Калифорния) производства Shelby Electric светит практически непрерывно с 1901 г.), так и сложного электротехнического комплекса – электростанции. В то же время при выборе между тем или иным техническим решением необходимо принимать вполне определенное решение исходя из имеющейся информации. Пример с приборами освещения не является исключительным. Аналогичная трансформация соотношения стоимости производства электроэнергии на электростанциях традиционной энергетики и ВИЭ, а также систем аккумулирования энергии рассмотрены в Приложении 4.

Поэтому далее основное внимание сфокусировано не столько на сопоставлении финансовых затрат на некоторый фиксированный момент времени, сколько на разработке концептуальных положений, направленных на повышение эффективности энергоснабжения. Соответственно оценка приведена не в финансовых, зависящих от волатильности цен на этот или иной энергоноситель, а в стабильных материальных показателях таких, как доля потерь на передачу, УРУТ на выработку того или иного вида ресурса, установленная мощность, число часов использования установленной мощности как отдельной электростанции, так и энергосистемы, потребление электроэнергии на одного человека и т.д.

## *2. Зонная тарификация электроэнергии и ее результативность в части влияния на график потребления электроэнергии*

Неэффективность управления потреблением электроэнергии путем ежегодного перехода на летнее время, когда совокупность потребителей рассматривается как пассивный объект, которым можно управлять как целым, что по сути положено в основу перевода стрелок часов, предполагает поиск более гибких, дифференцировано воздействующих механизмов. Требованию более гибкого воздействия на потребление электроэнергии различных потребителей соответствует механизм дифференциации стоимости электроэнергии в различные периоды времени.

На протяжении более 25 лет происходит формирование рыночных отношений в России. Основными способами влияния государства становятся рыночные рычаги. Регулирование стоимости электроэнергии является рыночным организационно-экономическим механизмом, поэтому для обеспечения более равномерного потребления электроэнергии Постановлением Федеральной энергетической комиссии Российской Федерации 19.12.1997/3 [132] с 1997 г. введены трехзонные тарифы, что по изначальному замыслу должно было в определенной степени стимулировать потребителей снижать потребление в часы максимальных нагрузок и увеличивать в менее загруженные часы суток. Одной из главных причин введения дифференцированных тарифов являлась стремление к выравниванию графика нагрузки в энергосистемах, что позволяет откладывать ввод новых генерирующих мощностей за счет уменьшения потребления электроэнергии в часы максимума. По своему назначению тарифы, дифференцированные по зонам суток, не являются льготными, а служат лишь инструментом выравнивания графиков нагрузок энергосистемы путем управления электропотреблением и переносом нагрузок с пиковых и полупиковых зон в ночную зону электропотребления, снижая при этом и размер платы за электроэнергию. Для этого необходимо, чтобы потребители электроэнергии изменили графики электропотребления собственного производства, т.е. перевели энергоемкие производства из зон максимального потребления электроэнергии в зоны среднего и минимального потребления. Это будет возможно только в том случае, если потребитель будет иметь как экономическую за-

интересованность, так и техническую возможность маневрирования своим энергопотреблением, изменяя технологический цикл, для получения наибольшей экономии средств. Расписание тарифных зон, т.е. включение того или иного тарифа для учета электроэнергии, определяется Региональными энергетическими комиссиями [103].

Далее проведен анализ результативности реализации данного механизма на региональном уровне по истечении более 20 лет после принятия Постановления федерального регулирующего органа, функции которого в настоящее время исполняет Федеральная служба по тарифам (ФСТ) России. В качестве примера рассмотрены данные одного из самых успешных в повышении энергоэффективности экономики регионов, входящий в пятерку лучших по проведению реформы энергосбережения [104] – Томской области.

Согласно информационному сообщению Департамента тарифного регулирования и государственного заказа Томской области определение интервалов тарифных зон суток по энергозонам (ОЭС) России и субъектам Российской Федерации относится к компетенции Федеральной службы по тарифам. Документом, дополнительно регламентирующим использование в 2011 г. тарифов, дифференцированных по зонам суток, в том числе населением, является приказ ФСТ России [303], согласно которому интервалы тарифных зон суток на территории Томской области составляют:

- для двухзонных тарифов: ночная зона – с 23 часов вечера до 07 часов утра; дневная зона – остальное время;
- для трехзонных тарифов: ночная зона – с 23 часов вечера до 07 часов утра; пиковая зона – имеет 2 диапазона – утренний и вечерний, которые изменяются в зависимости от месяца и примерно составляют: утренний пик – с 08 часов до 11 часов; вечерний пик – с 17 часов до 20 часов; полупиковая зона – остальное время.

Экономический анализ применения одноставочных тарифов и тарифов, дифференцированных по двум и трем зонам суток, проведенный Департаментом тарифного регулирования и государственного заказа Томской области, показывает, что при сохранении населением неизменного режима потребления (иначе образа жизни) эффективность применения трехзонного тарифа по отношению к одноставочному тарифу ниже, чем двухзонного.

Пример сравнительного расчета экономической эффективности тарифов на электрическую энергию для населения Томской области показан в табл. 2.4.

В итоге экономическая эффективность применения трехзонного тарифа для населения, проживающего в стандартной квартире с объемом потребления электроэнергии 300 кВт·ч в месяц, незначительна и составляет 7,2 р. в месяц или 86,4 р. в год, а двухзонного – 10 р. (120 р. в год) [105].

**Сравнительный расчет экономической эффективности тарифов  
на электрическую энергию для населения Томской области**

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измер.	2011 г.		
			2010 г.	Двухзонный	Трёхзонный
1.	Объём электропотребления за месяц, всего	кВт·ч	300,0	300,0	300,0
1.1.	Объём ночного электропотребления за месяц	кВт·ч	50,0	50,0	50,0
1.2.	Объём дневного электропотребления за месяц, в том числе	кВт·ч	250,0	250,0	250,0
1.2.1.	Пиковая зона	кВт·ч			30,0
1.2.2.	Полупиковая зона	кВт·ч			220,0
2.	Одноставочный тариф	р./кВт·ч	1,38	1,51	1,51
3.	Тариф, дифференцированный по зонам суток				
3.1.	Ночная зона	р./кВт·ч	0,97	1,06	1,06
3.2.	Полупиковая зона	р./кВт·ч			1,51
3.4.	Пиковая зона	р./кВт·ч	1,38	1,56	2,02
4.	Сумма оплаты по одноставочному тарифу	р.	414,00	453,00	453,00
5.	Сумма оплаты по зонному тарифу	р.	393,50	443,00	445,80
6.	Разность п. 3 – п. 4 («+»экономия; «-» перерасход)	р.	20,50	10,00	7,20
7.	Отношение п. 3–п. 4 («+»экономия; «-» перерасход)	%	5,0	2,2	1,6

Данная ситуация является типичной, что подтверждают выводы Калужской сбытовой компании о том, что в настоящее время для большинства граждан-потребителей переход на расчеты за потребленную электроэнергию по тарифам, дифференцированным по зонам суток, представляется экономически нецелесообразным [426].

Выделяются следующие проблемы регулирования потребления энергии на основе дифференциации ее стоимости по времени суток.

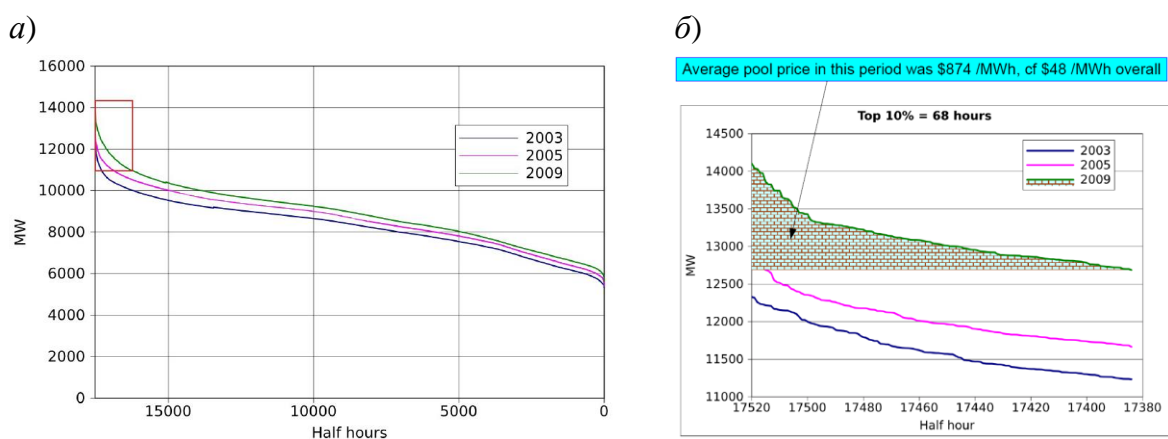
1. Слабая мотивация потребителя в переходе расчетов за электроэнергию на многозонные тарифы – экономия менее 5% средств от оплаты электроэнергии (табл. 2.4, строка 7). Практиковавшаяся на протяжении длительного периода бесплатная установка многозонных приборов учета рядом энергосбытовых компаний не изменила ситуацию.

2. Отсутствие многоступенчатости стоимости электроэнергии приводит к снижению мотивации у генерирующих компаний снижать издержки генерации. Фактическая более высокая результативность перехода на двухступенчатое регулирование у потребителя в сравнении с трехступенчатым делает не жизнеспособной задачу оптимизации производства электроэнергии в результате регулирования спроса. Неравномерность графика потребления электроэнергии в основном определяется бытовыми нагрузками, доля которых в перспективе будет увеличиваться, а применение административно-командных подходов к бытовым потребителям, при условии продолжения построения рыночной экономики, наименее эффективно. Поэтому в первую очередь управление спросом на основе рыночных механизмов должно осуществляться в коммунально-бытовом секторе.

Столь незначительное различие в суммах платежа потребителя (табл. 2.4) было достигнуто при достаточно высокой для России глубине регулирования стоимости электроэнергии по времени суток, составляющей в Томской области для базовой и пиковой электроэнергии 1,9 раза (2,02 и 1,06 р./кВт·ч). В регионах, где отношение максимальной и минимальной цен на электроэнергию меньше, результативность влияния государства на развитие энергетики посредством многозонных тарифов еще менее значима. Например, постановлением Региональной энергетической комиссии Пермского края 29.03.2011 № 14-э для потребителей Пермского края (население) установлены тарифы на электроэнергию, различающиеся по времени суток в 1,58 раза (2,50 и 1,58 р./кВт·ч) [106], что значительно ниже, чем в Томской области.

Проведем сопоставление вышеприведенных значений величин дифференциации тарифа на электроэнергию по времени суток с опытом западных стран, а также анализ возможности покрытия данным механизмом издержек на выработку пиковой электроэнергии.

В работе [144] была поставлена задача – определить время работы мощностей, не участвующих в обеспечении 90% пикового потребления электроэнергии (всей площади под графиком нагрузок за исключением прямоугольника, расположенного в верхней части рис. 2.18, а)). Авторы показали, что время использования 10% рассматриваемых мощностей (1410 МВт из 14 100 МВт) менее 1% в год. При этом отношение себестоимости базовой электроэнергии и электроэнергии, произведенной 10% пиковых мощностей (10% top-power), превышает четырехсоткратную величину. Отношение цен на электроэнергию в менее чем 70-часовой период прохождения годового максимума и среднегодовых (а не минимальных) цен на электроэнергию в штате Новый Южный Уэльс равнялось 18 (874 и 48 австралийских долл. за МВт·ч) и лишь частично отражало издержки энергоснабжения в период, изображенный на рис. 2.18, б).



**Рис. 2.18. Годовой график получасовых нагрузок Нового Южного Уэльса (NSW Австралия): время (получасовые интервалы); нагрузка (МВт)**



В публикации [144] делается вывод о недостаточной дифференциации стоимости электроэнергии в 18 раз, которая лишь частично покрывает 400 кратное различие в издержках генерации 10% top-power и базовых мощностей.

Достигнутая в России результативность регулирования стоимости электроэнергии в течение суток приводит к тому, что вечернее прохождение срединного уровня внутрисуточных нагрузок (среднее арифметическое между вечерним пиком и ночным провалом) проходит до 21 часа (рис. 2.15). Таким образом, значительную часть объема бытового потребления можно сместить в сторону ночного провала при соответствующем управлении потреблением и создания условий, при которых потребителю будет не выгодно потреблять электроэнергию в период пиковых нагрузок [413].

### *3. Результаты влияния маржинального ценообразования в энергетике*

Для минимизации издержек обеспечения спроса на электроэнергию, заданного совокупностью потребителей, выбрана маржинальная система ценообразования. В Приложении 8 представлены результаты моделирования ее влияния на экономику с использованием развитой д.э.н. И.Д. Грачевым динамической вероятностной модели экономических систем [207, 467, 469]. Из них следует, что при существующем разбросе эффективности действующей генерации этот механизм ценообразования в энергетике гарантирует регресс экономической системы. Это выражается в росте капитализации субъектов электроэнергетики при деградации капитала других агентов: происходит практически полное подавление капитала агентов, не являющихся субъектами электроэнергетики.

Результаты численных экспериментов указывают, что введение маржинального ценообразования после некоторого подъема общего капитала системы в первые 10–15 лет ведет к его снижению вне зависимости ограничений по объему доступных ресурсов. Дальнейшее развитие маржинального ценообразования в электроэнергетике с постоянно растущей стоимостью электроэнергии в условиях ограниченных ресурсов приведет к росту рентабельности субъектов электроэнергетики за счет других отраслей экономики и, как следствие, перераспределению капитала, его вымыванию из неэнергетических отраслей экономики.

То есть задача объектной системы – роста рентабельности какой-либо отрасли экономики, а тем более отдельного хозяйствующего субъекта или группы таких субъектов далеко не всегда соответствует задаче роста средовой системы – национальной экономики или другими словами «ссылка на рынок, который-де все сам разрулит, уместна для частных сделок, но наивна там, где речь идет о крупнейших проектах, включающих множество участников и заинтересованных сторон» [600].

В случае отсутствия корректировки действующей концепции развития энергетики и правил взаимодействия электроэнергетики с другими отраслями экономики в

рамках предложенной модели далее будет происходить рецессия в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте.

С другой стороны, в рыночных условиях на уровне микроэкономики каждым самостоятельным объектом – хозяйствующим агентом будет решаться задача максимизации прибыли, которая в краткосрочном периоде может и не быть столь явно выражена (например, целью может быть рост доли рынка, улучшение отношения контрагентов к компании и т.д.), но в долгосрочном периоде так или иначе нацелена на рост финансового потока. Поэтому требуется трансформация методологических основ, определяющих взаимоотношения в энергетике – основе устойчивого развития всей экономики.

Наличие в зарубежной практике частно-публичных доктрин регулирования социально важных секторов экономики является подтверждением того, что сфера энергоснабжения не может регулироваться только лишь в плоскости частного права, поскольку в ней объективно заложены публичные (общие) интересы, требующие наличия специальных правовых механизмов регулирования (защиты). Например, Европейский Союз серьезно озабочен качеством регулирования инфраструктурных секторов, в которых была проведена либерализация. Страны ЕС не стали полагаться исключительно на рыночные силы, принимают адекватные меры по повышению эффективности государственного регулирования путем создания новой универсальной концепции для стран ЕС по созданию единого правового режима регулирования рынков электроэнергии и газа. Государственное регулирование широко применяется и в США, в частности Кодекс публичного обслуживания штата Калифорния (California Public Utilities Code) содержит несколько десятков тысяч статей, в том числе разделы, относящиеся к энергоснабжению и газоснабжению [474].

Другим подтверждением факта, что стратегическая энергетическая безопасность не может быть обеспечена на основе рыночных механизмов без участия государства, является рост смертности в Великобритании на 29% по сравнению с предыдущими годами, пик которой пришелся на первую неделю января 2013 г. Одной из главных его причин стало увеличение тарифов на электроэнергию. Дело в том, что в Великобритании центральное отопление не распространено, жители предпочитают обогревать дома с помощью электрообогревателей. С 2004 по 2013 г. счета за электроэнергию выросли на 70%. В результате такого резкого роста цен малоимущие граждане Британии были вынуждены экономить на электроэнергии. В связи с этим властям Великобритании предстоит провести корректировку в принятие решений в энергетике, чтобы успешно модернизировать энергетическую отрасль и не допустить дальнейшего предполагаемого дополнительного на 50% в ближайшие шесть лет роста тарифов, который лишит значительную часть жителей страны средств на пропитание [489]. Поэтому регулирующий орган Великобритании по газу и электрическим рынкам (Ofgem)

предложил ограничить внутренние розничные счета за электроэнергию в размере 1136 фунтов стерлингов в год (1264 евро) для 11 млн клиентов в соответствии с новым правительственным актом о государственном газе и электроэнергии (тарифный лимит), который стал законом в 2018 г. [492].

Таким образом, в странах с наиболее развитой рыночной экономикой корректировка со стороны государства основ взаимодействия энергетики с экономикой является естественным процессом поддержания структурной устойчивости экономики. Без подобных экзогенных корректировок не могут быть обеспечены доступные цены на электроэнергию, необходимые для поддержания устойчивого социально-экономического развития.

Из рассмотренных примеров следует, что причиной низкой результативности экономических механизмов, сфокусированных на минимизации издержек энергоснабжения в рамках действующей концепции развития энергетики, является раздельное рассмотрение 2 систем: энергоснабжающих предприятий и экзогенных для нее пассивных элементов – потребителей электроэнергии. В результате раздельного рассмотрения остаются не задействованными возможности потребителя по оптимизации функционирования всей технологической цепочки «производство-потребление ТЭР». Совокупность потребителей, по сути являясь внешней для энергосистемы самостоятельно функционирующей системой, развивается в полном соответствии с принципом Ле Шателье – Брауна: если находящаяся в равновесии система подвергается воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению [487]. Доступными потребителю путями снижения оплаты за энергоснабжение являются энергосбережение и развитие собственной генерации.

#### ***2.4. Энергосбережение и развитие автономной генерации как пути снижения оплаты энергоснабжения потребителем***

Энергосбережение – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование (и экономное расходование) топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [551]. Оценка показала, что потенциал энергосбережения в России составил 45% от потребления первичной энергии в 2005 г. [547].

Вопросу сбережения различных ресурсов (электрической и тепловой энергии, газа, воды и т.д.) уделяется большое внимание [579], причем не только на уровне микроэкономики – отдельных потребителей, на муниципальном и региональном мезо-уровнях, но и на федеральном уровне. 23 ноября 2009 г. был принят Федеральный за-

кон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», на федеральном уровне регулируется процесс составления программ по энергосбережению (Приказ Минэнерго России от 30 июня 2014 г. №398 «Об утверждении требований к форме программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства и муниципального образования»), составлены десятки тысяч Энергетических паспортов предприятий и Программ энергосбережения и т.д. Однако, без системного подхода к организации производственной деятельности совокупности систем жизнеобеспечения невозможно достичь ожидаемого эффекта от мероприятий по энергосбережению. В некоторых случаях возникает парадоксальная ситуация: локально эффект достигнут, а на системном уровне можно констатировать только освоение финансирования на цели энергосбережения (в ряде случаев достаточно значительное) без интегрального уменьшения потребления энергоресурсов.

Проблема энергосбережения поднята на президентский уровень, и решение ее фактически позиционировано сегодня как приоритетная цель национальной экономики. Издаются множество документов, проводятся круглые столы, принимаются программы, а результаты – не очень значительны. Более того, в некоторых случаях применение энергосберегающих мероприятий приводит совершенно к обратному результату – затраты на энергоснабжение не только не уменьшаются, но и возрастают [99].

Основной причиной является разбаласированность тетрады, выражающаяся в различии стратегических интересов энергопроизводящих компаний в максимальном увеличении объема продаж энергетических ресурсов и стратегических интересов потребителя – в их минимальном потреблении [99], что в совокупности с заинтересованностью высшего менеджмента энергопроизводителей максимизировать объем освоенных средств за счет внедрения наиболее дорогостоящих технологий приводит к отсутствию ожидаемых результатов в задаче повышения энергоэффективности.

Следующие примеры подтверждают данное утверждение. В ряде городов Российской Федерации проводится капитальный ремонт зданий с улучшением теплоизоляционных параметров наружных стен, которые ведут к снижению потребности в потреблении тепловой энергии. В Москве подобные мероприятия проводятся на протяжении более 10 лет в рамках городской программы реконструкции жилого фонда. Сотни домов 1970–1980-х гг. постройки снизили потребность в отоплении после реконструкции. Однако практически нигде не проводилась тепловая наладка – регулирование распределения теплоты с учетом изменившихся потребностей. Регулировка преретопов проводится самими жителями реконструированных домов «методом открытой форточки».

Но если для отдельных зданий, прошедших реконструкцию с повышением теплоизоляционных показателей, существует возможность исправить ситуацию и скорректировать новые потребности в тепловой энергии и изменить фактический объем отпуска тепла, то тепловая наладка отдельного дома при замене части окон (нескольких этажей в здании) на стеклопакеты является возможной только при замене системы внутренней разводки теплоснабжения. Кроме того, замена окон на герметичные стеклопакеты далеко не всегда ведет к суммарному уменьшению потребления энергии. Снижение потребления тепла в ряде случаев восполняется ростом электропотребления за счет использования в теплое время года индивидуальных кондиционеров для поддержания комфортных условий в помещениях.

Если рассматривать проблему энергосбережения отдельно у производителя энергии и отдельно у потребителя (существующее состояние в действующих нормативных документах), то гипотетически можно представить себе ситуацию, когда потребитель достигнет уровня энергосбережения в размере 90% сегодняшнего потребления. В результате потери в тепловых сетях могут достичь 200% энергии, полученной потребителем, поскольку потери в сетях определяются в основном температурным режимом теплоносителя и в значительно меньшей степени зависят от количества транспортируемой тепловой энергии. Можно пояснить это примером.

Для района с тепловой нагрузкой 100 МВт и потерях в 15% абсолютное значение потерь составит 15 МВт. Тепловая нагрузка непосредственно потребителя – 85 МВт. В результате различных мероприятий по энергосбережению потребитель сэкономил 77,5 МВт (или 91%), тогда его тепловая нагрузка будет равна 7,5 МВт, а потери в сетях 15 МВт, т.е. 200% тепловой нагрузки потребителя.

В итоге все это приведет к тому, что себестоимость энергии у производителя повысится, поскольку уменьшится объем ее продаж. Так или иначе, в конечном счете, эти издержки оплатит потребитель, который и так уже инвестировал немалые средства в энергосбережение, и, как выясняется, часть этих инвестиций, возможно, была напрасной [99]. Таким образом, в результате разнонаправленности интересов производителей и потребителей энергетических ресурсов энергосбережение потребителя зачастую вызывает проблемы у производителя, которые все равно оплачивает потребитель.

Можно привести пример, когда только на организационно-административном уровне с нулевыми материальными затратами можно сократить потребление топлива общественным транспортом большинства городов России и соответственно количество вредных выбросов. В дневное время муниципальные маршруты общественного транспорта и маршрутные такси работают совместно. При этом коммерческими малолитражными маршрутными такси продублировано большинство муниципальных маршрутов с большим трафиком пассажиропотока. В вечернее время пассажиропоток снижается. Однако перевозку нескольких пассажиров после 22 часов (а иногда и

20 часов) выполняют 70–130 местные муниципальные автобусы при окончании работы 12–20 местных маршрутных такси. Капитальные затраты организации вечерних перевозок микроавтобусами близки к нулю. Для этого не нужно производить никаких инвестиционных вложений, задача имеет решение только в административно-хозяйственной плоскости, однако отсутствие ее решения прослеживается на протяжении минимум десятилетия в большинстве городов, несмотря на ряд работ Высшей школы экономики, посвященных координации взаимодействия муниципальных и частных предприятий в отрасли автобусных перевозок [222].

Анализ тарифной политики пригородного сообщения с точки зрения энергоэффективности приводит к выводу, что ОАО РЖД стимулирует более энергозатратные способы перемещения. С точки зрения энергопотребления, проезд без остановок между двумя точками является более экономичным в сравнении с организацией значительного количества остановок по пути следования даже при условии установки систем рекуперации энергии. Однако стоимость проезда в пригородных безостановочных «Спутниках» выше, чем в обычных электропоездах при одинаковом подвижном составе и скорости движения без учета остановок. Данный пример является иллюстрацией формирования сигналов, на основе которых ежедневно принимаются решения экономическими субъектами (пассажирами), приводящие к большему объему расхода электроэнергии при достижении одинакового результата – в рассматриваемом случае перевозке пассажиров из городов Пушкино, Королев, Ногинск, Орехово-Зуево, Раменское и т.д. в Москву и обратно.

Еще один фактор, который должен быть решен на системном уровне – это максимально возможное снижение негативного экологического воздействия, что более подробно будет рассмотрено в главе 4 на примере роста выработки электроэнергии на ТЭЦ с последующей ее передачей за пределы зон плотной городской застройки.

Вызывает ряд вопросов системная эффективность городской программы надстройки большинства районных тепловых станций (РТС) Москвы газотурбинными установками. С одной стороны, перевод источника тепловой энергии в режим комбинированного производства тепла и электроэнергии является одним из наиболее эффективных мероприятий по энергосбережению, с другой – при переходе к системному рассмотрению необходимо учитывать, что особенностью большинства РТС Москвы (за исключением Зеленограда, Северного Тушино и Новой Москвы) является работа на тепловую нагрузку, которая может быть покрыта тепловыми отборами ТЭЦ. Изначально РТС в системе теплоснабжения Москвы проектировались для заполнения пиковой части графика теплового потребления в период прохождения осенне-зимнего максимума. Однако в результате проведенных дезинтессий, приведшей к фрагментации системы теплоснабжения, после того, как РТС получили выделенные участки теплового потребления, снизили тепловую нагрузку ТЭЦ Мосэнерго, способствуя увели-

чению производства электроэнергии на ТЭЦ в конденсационном режиме. В связи с этим надстройки ГТУ РТС в рамках самостоятельно функционирующей системы – ОАО «МОЭК» были энергоэффективным проектом, повышающим рентабельность его производственной деятельности, а с системной точки зрения намного более результативным являлся бы возврат тепловых потребителей РТС в зону покрытия частично загруженных тепловых отборов ТЭЦ. В этом случае использование тепловой мощности большинства РТС составляло бы не более 100–300 часов в год, и вопрос надстройки ГТУ пиковых тепловых мощностей просто был бы экономически нецелесообразен.

Аналогично проведение тепловой наладки систем теплоснабжения, обслуживающих здания, в которых повышен уровень теплоизоляции в рамках городской программы реконструкции жилого фонда, снизив потребление тепла, увеличит долю электроэнергии, вырабатываемой в конденсационном режиме на ТЭЦ Москвы.

На XI международном симпозиуме «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение» 16.12.2010 был приведен такой пример: «в одном из сибирских городов построили станцию по выработке электричества на газе, идеально учитывающую изменения потребностей города, способную в цифровом режиме регулировать объемы вырабатываемой и подаваемой энергии. А потом выяснилось, газ можно потреблять только с постоянным расходом. Только для этих целей необходимо построить собственное газовое хранилище и получить соответствующие лицензии. Позиция газоснабжающей организации предельно понятна – после строительства собственного газового хранилища можно будет потреблять газ своему усмотрению, а при отсутствии такового, при всей идеальности новой станции, потребляйте газ в равномерном режиме» [101].

Столь большое количество примеров и отсутствие их систематизации по величине вклада в снижение энергоемкости экономики приведено с целью показать типичность разнонаправленности интересов производителя и потребителя, а также различных отдельных хозяйствующих субъектов, искусственно разобщенных, не образующих единый организм современной энергетики Российской Федерации и фактически своей деятельностью снижающих структурную устойчивость экономики страны.

Энергосбережение является необходимым, но не достаточным условием для обеспечения устойчивого экономического развития. При условии реализации не только индикативных показателей по энергосбережению в объеме 40% от потребляемых ресурсов по состоянию на 2010 г., но и уменьшения энергоемкости ВВП до уровня развитых стран, цена энергоресурсов все равно будет являться одним из лимитирующих факторов конкурентоспособности продукции Российской Федерации.

Правомерность данного утверждения можно видеть на примере конкретного хозяйствующего субъекта. Согласно данным генерального директора агропредприятия «Солгонское» Бориса Мельниченко, за семь лет (2004–2011 гг.) предприятие снизило

потребление энергии на 30% в физическом измерении, но в финансовом выражении величина платежей, опередив уровень инфляции, выросла на 300%. Двадцать лет назад механическая сила обходилась предприятию в 4 коп., электрическая – в 1 коп. Сейчас они сравнялись и обходятся предприятию в 6 р. По мнению руководителя предприятия реального сектора экономики, скоро ручной труд может стать дешевле использования электроэнергии [27]. Таким образом, можно утверждать, что экономическое развитие в России, которое неразрывно связано с востребованностью новых технологий, интенсификацией производства, модернизацией и т.п. вернулось на уровень, характерный для эпохи принятия плана ГОЭЛРО. Только необходимо отметить следующее качественное отличие: если для экономики страны 1920-х гг. основной задачей была замена механического труда на основе электрификации народного хозяйства, то в результате реформирования энергетики последних 15 лет вынужденным является снижение потребления электроэнергии, и в статус экономически эффективных переходят проекты замены электроприводов на механический привод.

Этот вывод сделан на основе хозяйственной деятельности потребителя, снизившего потребление энергоресурсов на 30%, что не могут поставить в заслугу себе как минимум 50% российских предприятий. Таким образом, единичные решения на уровне одного потребителя, пусть даже реализованные в рамках грамотно продуманной программы энергосбережения, не в состоянии изменить ситуацию с доступностью энергетических ресурсов. Вне зависимости от их реализации суммы платежей за энергоснабжение опережают инфляцию, приводя к перераспределению капитала в экономике в направлении предприятий энергетики.

Без системного подхода единичные мероприятия по энергосбережению в большинстве случаев не достигают ожидаемого уровня эффективности. Анализ эффективности завершенных мероприятий по энергосбережению в большинстве случаев указывает на их результативность, как правило, при оценке в узковедомственном аспекте потребления одного типа ресурса. То есть ведомство, которое является заказчиком мероприятия по энергосбережению, интересуется сокращением потребления только тех ресурсов, которые входят в круг его полномочий. В итоге при учете совокупности потребляемых ресурсов на системном уровне эффективность реализованного мероприятия может оказаться значительно ниже, чем при соблюдении интересов всех участников единой технологической цепочки «производство–потребление», а в ряде случаев фактически имеет отрицательный системный эффект.

Таким образом, при слабокоординируемом развитии систем жизнеобеспечения любые попытки снизить издержки энергоснабжения, в том числе и в рамках энергосбережения, ведут к сокращению потребления какого-либо одного ресурса и не позволяют повысить эффективность на системном уровне.



Помимо энергосбережения потребитель имеет возможность снижения платежей за электроснабжение путем развития собственной генерации. При сегодняшней ситуации стихийная, не контролируемая государством установка электрогенерации дополнительно приводит к снижению структурной устойчивости электроэнергетики. Реакцией потребителя на рост стоимости энергоснабжения стала стихийная установка собственных, в большинстве случаев автономных генераторов электроэнергии. Собственной генерацией обзаводится не только большинство элиты – крупные магазины, общественные здания, больницы принимают решение о строительстве независимых источников. Статистические данные о реализации в России энергетического оборудования в 2004–2007 гг. показывают, что суммарный объем реализованного оборудования для малых ТЭС превышал данный показатель для большой энергетики в 1,4 раза [109]. В 2010 г. увеличение к 2009 составило 2,21 раза [190]. В 2009–2012 гг. таможенная стоимость оборудования для распределённой энергетики увеличилась со 110 млн до 800 млн долл. в год и за 2009–2014 гг. составила 3,4 млрд долл. [225].

При этом у государства нет никаких механизмов влияния на выбор качественных характеристик стихийно ввозимого оборудования. Это приводит не только к риску возможности управлять режимом работы импортными установками вне зависимости от желания эксплуатирующего персонала, системного оператора и т.д. (что, по сути, является новым негативным фактором для ЭНБ), но и к необходимости включать в тариф произведенной ими энергии издержки на последующее обслуживание. Следует учитывать, что стратегия поведения на рынке ряда компаний – это изначальная продажа оборудования по минимальной цене с последующим получением прибыли на протяжении жизненного цикла его эксплуатации за счет поставки комплектующих, осуществления технического обслуживания и т.д. Например, в отношении импортных ГТУ данная проблема рассмотрена в [251], где показано, что они очень дороги в обслуживании (капитальный ремонт через 50 тыс. часов работы с вывозом установки на завод-изготовитель или в специальный сервисный центр). Лицензионное производство проблемы не решает, поскольку: 1) как показывает опыт покупки лицензии на ГТЭ-160 у Siemens, зарубежные компании продают устаревшие разработки и 2) наиболее важные и дорогостоящие элементы ГТУ (лопатки первых ступеней) производятся за рубежом. Станции с импортным оборудованием попадают в зависимость от зарубежных поставщиков и будут оплачивать сервис за любую цену (хотя уже были случаи консервации ГТУ при получении счета на капитальный ремонт) [251]. Немаловажным вопросом, снижающим ЭНБ, является риск последующей технологической зависимости российской генерации от фирмы-поставщика.

В настоящее время предприятия сооружают независимую генерацию без выхода в энергосистему. Фактически это является переходом к натуральному хозяйству в электроэнергетике – отрасли экономики, где с момента ее зарождения существовала и

активно использовалась синергия от учета преимуществ географического положения Российской Федерации в нескольких часовых поясах, естественного наличия и специального разнесения максимумов нагрузки разных групп потребителей по времени суток, комбинированной выработки тепла и электроэнергии для пространственно разнесенных потребителей, использования возможностей разных типов генерации (АЭС, ГЭС) для обеспечения эффективности использования оборудования, взаиморезервирования генерации, сетевой инфраструктуры и т.д. Так только за счет параллельной работы электростанций, расположенных в разных часовых поясах в энергосистеме России на 8 млн кВт снижается потребность в рабочей и резервной мощностях [263]. Основными доводами в пользу работы электростанции в рамках энергосистемы, как и объединения энергосистем, являются: уменьшение суммарного резерва мощности; улучшение использования мощности и энергии гидроэлектростанций одной или обеих систем; уменьшение суммарного максимума нагрузки объединяемых энергосистем; взаимопомощь систем в случае неодинаковых сезонных изменений мощности электростанций и в частности гидроэлектростанций; взаимопомощь систем в случае неодинаковых сезонных изменений нагрузки; взаимопомощь систем в проведении ремонтов [313], что ведет к повышению надёжности энергоснабжения и при условии корректно работающих экономических стимулов снижает издержки. При автономной работе на выделенную нагрузку эти преимущества становятся нереализуемыми.

Поэтому следует обратить внимание на различие двух разных задач: обеспечения общесистемной эффективности и повышения эффективности использования средств, вложенных в новые источники электроэнергии. При одинаковых капитальных затратах на создание нового объекта генерации решение первой задачи обеспечивает получение общесистемного эффекта, выраженного в снижении издержек на всех участках технологической цепочки «производство-потребление энергетических ресурсов», что принципиально отличается от другой задачи – роста рентабельности отдельных хозяйствующих субъектов и достижения наибольшей эффективности средств, вложенных в новые генерирующие мощности средств. В настоящее время развитие генерации у потребителя происходит в рамках решения второй задачи, в соответствии с которой обеспечивается ее максимальная загрузка. Поэтому сформировалась устойчивая тенденция выделения из электротехнических комплексов и систем потребителей части электроприемников, имеющих непрерывный базовый режим потребления, с дальнейшим их электроснабжением в автономном режиме. Результатом является преимущественный уход из энергосистемы нагрузки, обеспечивающей непрерывный профиль спроса на электроэнергию, что ведет к росту неравномерности совокупной кривой спроса. Таким образом, в результате автономизации электроснабжения нагрузки, имеющей непрерывный характер потребления, наблюдается рост доли переменной нагрузки в работе энергосистемы.

В случае массового появления генераторов, не объединенных в систему, формируется риск развала единой энергосистемы за счет автономизации энергоснабжения, так как потребители решают вопрос организации собственного энергоснабжения своими силами, в том числе за счет собственной генерации. Таким образом, сегодняшние проблемы в организационно-экономических вопросах ЭНБ и устранение государства от решения проблем стратегии развития и планирования организационных структур и производственных процессов в энергетике приведут к снижению технико-технологической надёжности энергоснабжения. В следующей главе показано, что это не отдаленная угроза в неопределенной перспективе, а интенсивно происходящий в настоящее время процесс.

## ***2.5. Взаимосвязь эффективности использования генерирующих мощностей и стоимости энергоснабжения***

Переразмеренность объектной компоненты тетрады, выражающаяся в стремлении повышения своей рентабельности хозяйствующими объектами путем строительства автономных источников энергии, работающих на выделенную нагрузку с наиболее непрерывным профилем потребления является одним из факторов, приводящим к дополнительному уменьшению эффективности работы централизованной энергосистемы. При этом в ряде регионов периодически обсуждается угроза ограничения потребителей в периоды прохождения пиковых нагрузок [552], что свидетельствует о снижении структурной устойчивости электроэнергетики.

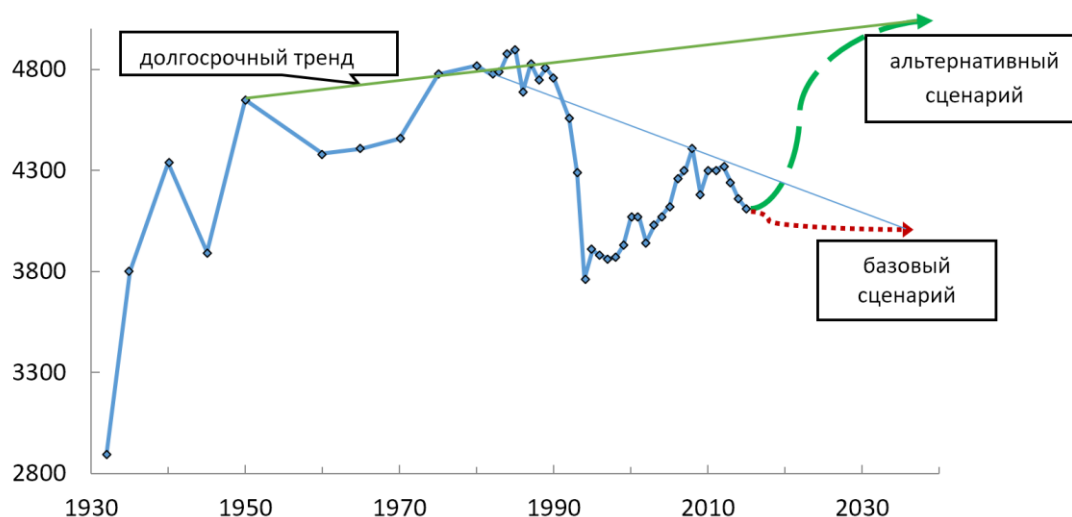
С целью определения причин сложившейся ситуации проследим изменение приоритетов производства и потребления энергии по мере технологического развития энергетики. Так как на этапе становления механического привода (водяные и ветряные мельницы) технологические возможности производства энергии определяли месторасположение потребителей, которые на тот момент в основном относились к промышленным потребителям. Потребление энергии осуществлялось в местах ее производства. И в дальнейшем (по мере начала замены механического привода на электрический) первые потребители электроэнергии находились рядом с электростанциями. Возможности предложения электроэнергии были локальны и полностью определяли спрос.

С развитием технологий дальнейшей передачи электроэнергии произошло пространственное разделение источников и потребителей, в результате требования распределённого спроса стали определять необходимость производства электроэнергии. Объемы потребления начали лимитироваться не расположением потребителя, а возможностями производства электроэнергии. Ограничения развития энергетики на этом этапе устанавливались технологическими возможностями производства. Подтвержда-

ет это утверждение синхронность (с точностью более 20%) увеличения производства электроэнергии в промышленно развитых странах в 1913–1960 гг., что будет более подробно рассмотрено в заключительной главе (табл. 7.5 и рис. 7.22). В период бурного развития электроэнергетики в развитых странах были основаны такие компании, как General Electric, Westinghouse, Siemens, явившиеся впоследствии на многие десятилетия лидерами мировой энергетики. Интенсивно растущий спрос на рынке электроэнергетики, государственное регулирование энергетики при растущих частных инвестициях способствовали возникновению в отрасли крупных компаний, многие из которых превратились в межотраслевые концерны. Энергосистемы Запада развивались как совокупность независимых региональных энергоструктур. При этом особенностью развития российской энергосистемы, использовавшей в самом начале становления позитивный зарубежный опыт, явилось развитие ее как единой централизованной системы под руководством государства [87].

В экономике СССР стихийное развитие потребителей не предполагалось, суммарные энергопотребности были синтезированы в плановых показателях развития энергетики, что являлось значительным преимуществом и позволило по темпам развития экономики СССР существенно опередить капиталистические страны, особенно в области создания продукции группы «А» и роста обороноспособности государства. Плановая экономика позволяла достичь наиболее высоких показателей числа часов использования установленной мощности (ЧЧИМ, час/год), и СССР вышел по этому показателю на лидирующие позиции в мире [153]. Причем в отличие от стран с рыночными механизмами планирование развития экономики обеспечивало эффективность использования энергетических мощностей на постоянно высоком уровне без циклических изменений.

Для аргументации данного факта проведено рассмотрение динамики ЧЧИМ в СССР и Российской Федерации. ЧЧИМ СССР возрастал с развитием научно-технического прогресса до 4966 часов в 1986 г., как это показано на рис. 2.19 и в табл. 2.5. График в интервале до 1990 г. построен на основе данных статистики СССР для всех электростанций, например, [46], а после 1991 г. – на основе материалов U.S. Energy Information Administration [52]. На графике можно выделить долгосрочный тренд изменения ЧЧИМ. Однако падение промышленного производства в 1990-х гг. вызвало понижение потребления электроэнергии. Сегодня отсутствует положительная динамика ЧЧИМ и этот сценарий развития в дальнейшем изложении будем называть базовым. В отличие от него, альтернативный сценарий предполагает возвращение на долгосрочный тренд развития отрасли и повышения эффективности использования мощностей.



**Рис. 2.19. ЧЧИМ электростанций России (час/год). (до 1991 г. СССР) и сценарии развития электроэнергетики**

Таблица 2.5

**Динамика ЧЧИМ энергосистемы России 1940–2015 гг.**

Год	1940	1950	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
ЧЧИМ*	4312	4650	4846	4760	4107	4229	4282	4395	4174	4294	4106
Индекс ЧЧИМ	1,00	1,08	1,04	0,98	0,86	1,03	1,01	1,03	0,95	1,03	0,96

\* До 1991 г. ЧЧИМ СССР, после – Российской Федерации.

Для того чтобы можно было в последующем провести сравнительный анализ с другими государствами далее, рассмотрен только средний ЧЧИМ, равный отношению годового производства электроэнергии в государстве к общей установленной мощности всех электрогенерирующих мощностей. Данная оговорка для дальнейших выводов имеет существенное значение, так как при рассмотрении, например, «числа часов использования среднегодовой установленной мощности станций общего пользования СССР» этот параметр в 1986 г. составил 5280 часов, из них тепловых – 5745 часов, гидроэлектростанций – 3503 [46]: т.е. эти значения значительно выше, приведенных в табл. 2.5.

В табл. 2.6 рассчитано ЧЧИМ каждой территориальной энергосистемы СССР 1979 г. на основе данных [7]. Эффективность использования энергетических мощностей была основополагающим параметром в становлении советской энергетики и уже в 1940 г. при мощности энергосистемы 11,2 ГВт было произведено 48,3 млрд кВт·ч (ЧЧИМ 4312 ч/год, табл. 2.5, рис. 2.19).

Таблица 2.6

**Основные показатели объединенных энергетических систем СССР за 1979 г.**

Энергетические системы	Установленная мощность электростанций, млн кВт	Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч	ЧЧИМ, час/год
ЕЭС СССР, в том числе	211,5	1094,5	5175
Центра	36,3	189,2	<b>5212</b>
Средней Волги	14,9	73,8	4953
Урала	29,8	177,3	<b>5950</b>
Северо-Запада	24,9	121,9	4896
Юга	44,1	243,6	5524
Северного Кавказа	9,9	46,8	4727
Закавказья	10,3	40,9	3971
Казахстана	7,8	43	5513
Сибири	33,4	158,1	4734
Отдельные объединенные системы			
Средней Азии	17,5	66,5	3800
Дальнего Востока	7,2	30,1	4181
Всего по ОЭС	236,2	1191,2	5043

Последовавшее снижение ЧЧИМ энергетики СССР в годы войны было преодолено в послевоенные годы. В 1950 г. эффективность использования энергетических мощностей в СССР составила 4650 часов в год: было произведено 91,2 млрд кВт·ч при мощности энергосистемы 19,61 ГВт. Как будет показано в гл. 6, в настоящее время на энергетическом оборудовании принципиально другого, более высокого технологического уровня показатель ЧЧИМ отечественной энергетики 1950 г. лишь периодически достигается далеко не всеми развитыми странами. Типовым агрегатом для новых отечественных ТЭС в конце 1940-х гг. стал турбогенератор 100 МВт; наибольшая мощность ТЭС в 1950 г. составила 400 МВт; доля агрегатов высокого давления с 3% в 1940 г. увеличилась к 1950 г. только до 20% общей мощности ТЭС (т.е. оставшиеся 80% турбогенераторов теплоэлектростанций работали на давлении менее 90 Атм); расчетными инструментами были обычные счеты, логарифмические линейки и арифмометры «Феликс». В последующем системный подход отечественной энергетической школы, оптимизация режимов электростанций и энергосистем [394] и потребителей позволили планомерно повышать ЧЧИМ на протяжении 1960–1991 гг. и по уровню эффективности использования энергетических мощностей стать СССР лидирующей энергосистемой в мире.

Достигнутые параметры обеспечивали необходимый уровень резервирования и рассчитаны для всех электростанций СССР с учетом аварийного, частотного, эксплуатационного и прочих типов резервов, предусмотренных для обеспечения надежности энергоснабжения в СССР, включая «бронированных» потребителей электроэнергии [47]. Доля «бронированных» потребителей в Российской Федерации в результате снижения производства на предприятиях военно-промышленного комплекса по

сравнению с 1980-ми гг. значительно уменьшилась. Поэтому отсутствуют предпосылки для обоснования увеличения по сравнению с СССР доли резервных мощностей.

С распадом СССР в 1991 г. и сокращением промышленного производства в Российской Федерации произошло снижение ЧЧИМ до 3737 часов в 1994 г. с последующим ростом до 2008 г. ЧЧИМ Российской Федерации превысил довоенный уровень СССР только в 2008 г. (4282 часа – 2007 г., 4395 – 2008 г.). Ввод новых мощностей, опережающий рост потребления, привел к снижению ЧЧИМ в 2010-х гг. до величин меньших 4300 час/год. Следует заметить, что ЧЧИМ в РСФСР был одним из самых высоких среди союзных республик, загрузка энергетических мощностей в РСФСР превосходила аналогичный показатель республик Средней Азии, Кавказа и западных территорий СССР, и фактически кривая ЧЧИМ РСФСР было выше, чем в СССР.

Таким образом, до 1990 г. был сформирован долгосрочный тренд развития, который, по сути, задавал общемировой вектор повышения эффективности использования энергетических мощностей. После перехода к рыночным отношениям отсутствует положительная динамика ЧЧИМ. По состоянию после 2010 г. этот показатель находится ниже довоенного уровня РСФСР, и этот сценарий стал базовым для действующей концепции энергетики.

Таблица 2.7

***Основные показатели объединенных энергетических систем  
Российской Федерации 2008 г. и их сравнение с 1979 г.***

Энергетические системы на 01.01.2009	Установленная мощность электростанций, млн кВт	Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч	ЧЧИМ 2008 г., час/год	Изменение ЧЧИМ 1979–2008 гг., час/год
Центра	49,217	224,7	4565	–647
Средней Волги	26,436	109,9	4157	–796
Урала	42,703	233	5456	–494
Северо-Запада	21,012	97,6	4645	–251
Юга	16,329	69,2	4238	<b>–1286</b>
Сибири	46,956	193,4	4119	–615
Востока	9,19	29,3	<b>3188</b>	<b>–993</b>

В табл. 2.7, составленной по данным Института народнохозяйственного прогнозирования РАН [188], приведены данные о мощности объединенных энергосистем и выработке электроэнергии на предкризисный 2008 г. и проведено сравнение с данными ЧЧИМ 1979 г. (табл. 2.6). ЧЧИМ снизилось во всех региональных энергосистемах. Если не рассматривать энергосистему Юга, которая значительно трансформировалась в результате отделения Украины, максимальное снижение эффективности использования действующего оборудования произошло на Дальнем Востоке. Поэтому именно для этой части российской территории наиболее актуальны вопросы повышения эффективности использования уже действующих мощностей, а не строительства

новых электростанций. Приведенные факты требуют первоочередности внесения корректировок в стратегию развития энергетики ДВФО, где загрузка энергетических мощностей без учета спада потребления электроэнергии, вызванного экономическим кризисом 2008 г., не превышает 3190 час/год.

Как показано в [405], для повышения эффективности энергетических установок, производящих электроэнергию, чрезвычайно важным является повышение ЧЧИМ. Стоимость электроэнергии в значительной степени определяется отчислениями от капитальных затрат на создание (строительство) электростанций, которые обратно пропорциональны коэффициенту использования мощности. Поэтому необходимо увеличение длительности периода использования мощностей электрогенерирующих установок. Это означает, что чрезвычайно важно обеспечение как можно более длительного времени работы электрогенерирующих установок в номинальном режиме при наименьшем удельном расходе топлива на выработку электроэнергии.

Работа на сниженных мощностях, как и вынужденные пуски-остановы энергоблоков, наряду с ухудшением показателей надёжности приводит к перерасходу топлива. Для ТЭС перерасход топлива составляет 15–17% при 30%-й нагрузке и 4-7% при 50%-й нагрузке.

Для АЭС фактор повышения эффективности использования установленной мощности еще более существенный вследствие более высоких затрат энергии на собственные нужды и остаточного тепловыделения топлива, требующего охлаждения реактора даже при остановленном энергоблоке [404]. Снижение КИУМ АЭС на 15% повышает стоимость электроэнергии на 24% [527].

Эффективность использования установленной мощности энергосистемы является значимым мезоэкономическим индикатором, влияющим на цену электроэнергии, для всех стран. Завышенные инвестиционные затраты на строительство новых мощностей негативно влияют на стоимость электроэнергии как в результате увеличения инвестиционной составляющей в тарифе, так и увеличения издержек в результате снижения ЧЧИМ всей энергосистемы. Например, бум строительства генерирующих мощностей в Онтарио (штат Канады) к концу 1980-х гг. обернулся тяжелым грузом долгов, давящим отрасль по сей день. К началу реформы отрасли 1998 г. долговой навес 24 млрд долл. компании Ontario Hydro правительство разделило между выделенными компаниями: Hydro One (90% сетей) – 4,8 млрд и OPG Ink. (80% генерации) – 4,3 млрд долл., остальные 14,9 млрд были возложены на потребителей, которые с июля 2002 г. погашают долг, платя специальный налог по 0,7 цента с кВт·ч. ЕЭС [130].

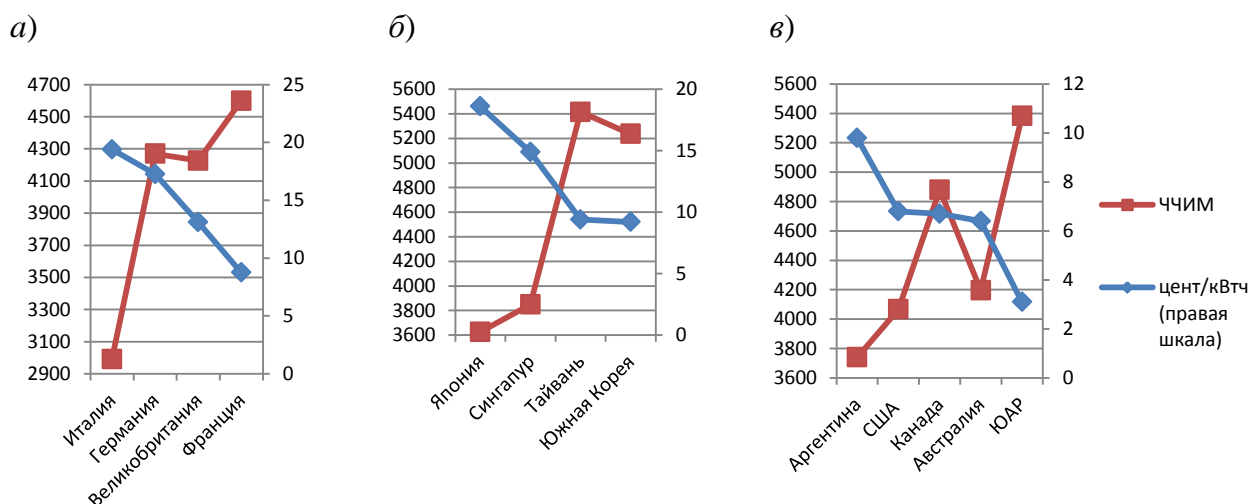
Далее проведено совместное рассмотрение числа часов использования установленной мощности (ЧЧИМ) и стоимости электроэнергии для промышленных предприятий ведущих экономик. Эффективность использования энергетических мощностей определяет:



- более чем *двукратную разницу* в стоимости электроэнергии крупных стран Европы при отношении ЧЧИМ в 1,51 раза (рис. 2.20, а): 19,4 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 2991 час/год в Италии и 8,75 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 4599 час/год во Франции (т.е. в рассматриваемом приближении эластичность цены электроэнергии для промышленных предприятий по ЧЧИМ – 1,46. Снижение ЧЧИМ на 1% опосредованно приводит к росту цены на электроэнергию на 1,46%);

- более чем *двукратную разницу* в стоимости электроэнергии в значительной степени зависимыми от импорта топливных ресурсов азиатских странах при отношении ЧЧИМ в 1,44 раза (рис. 2.20, б): 18,6 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 3626 час/год в Японии и 9,2 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 5237 час/год в Южной Корее (эластичность цены электроэнергии для промышленных предприятий по ЧЧИМ – 1,40);

- более чем *трехкратную разницу* в стоимости электроэнергии в странах с хорошей обеспеченностью топливом при отношении ЧЧИМ в 1,44 раза (рис. 2.20, в): 9,8 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 3739 час/год в Аргентине и 3,1 цента/кВт·ч при ЧЧИМ 5383 час/год в ЮАР (эластичность цены электроэнергии для промышленных предприятий по ЧЧИМ – 2,2).



**Рис. 2.20. Взаимосвязь ЧЧИМ и стоимости электроэнергии, ЧЧИМ 2008 г.; цена кВт·ч промышленных потребителей мощностью 0,5–4 МВт (а) (центы США 2009 г.[53]), центы США 2010 г. (б) и (в) [138]**

Развитие энергетики до массового распространения ветровой и солнечной энергетики на долгосрочном периоде во всех странах сопровождалось ростом ЧЧИМ, что приводило не только к сокращению постоянных издержек при выработке электроэнергии, но и к уменьшению удельного расхода топлива за счет работы оборудования в оптимальных режимах. В итоге для трех групп развитых стран (лидеры европейской экономики, на которые приходится более 70% ВВП Евросоюза (рис. 2.20, а); азиатские страны дефицитные по природным ресурсам (рис. 2.20, б); страны с высоким уровнем обеспеченности энергоресурсами (рис. 2.20, в) высокое ЧЧИМ определяло относи-

тельно низкую цену электроэнергии (Франция, Южная Корея, Тайвань, ЮАР, Канада), а низкое ЧЧИМ – высокую (Италия, Япония, Аргентина). Отсутствие монотонности на рис. 2.20, в вследствие относительно высокой стоимости электроэнергии в Канаде может быть объяснено не столько интегрированностью экономик США и Канады и соответственно равенством цен на электроэнергию в этих государствах, сколько приведенными выше фактами о завышенных инвестициях на строительство новых энергетических мощностей в Канаде.

Так как европейскую часть России с некоторыми оговорками можно сравнить со странами Европы, а Урал, Сибирь и Дальний Восток со странами, имеющими высокую обеспеченность топливными ресурсами, то правомерно сделать предположение, что в рыночных условиях итоговое влияние на стоимость электроэнергии в результате изменения ЧЧИМ будет сопоставимо для европейской части с зависимостью, представленной на рис. 2.20, а, а для регионов, расположенных восточнее Урала – рис. 2.20, в. При этом относительная результативность повышения эффективности использования установленных мощностей (величина эластичности цены электроэнергии по ЧЧИМ) в условиях хорошей обеспеченности топливными ресурсами выше, чем при дефиците топлива, в той или иной степени характерного как для азиатских, так и европейских стран. Действительно, при высокой стоимости привозного импортного топлива (в цене которого значительную долю имеет логистическая составляющая) в структуре цены электроэнергии топливная составляющая выше. Соответственно, при относительно низкой цене топлива на территориях с хорошей его обеспеченностью топливная составляющая незначительна. В итоге основные издержки определяются эффективностью организации производства генерирующих объектов. Поэтому в условиях хорошей топливообеспеченности эффективность использования установленной мощности имеет значимо большее влияние на цену конечной продукции – электроэнергию, что особенно актуально для восточных регионов Российской Федерации.

Приведем данные о влиянии ЧЧИМ на издержки энергоснабжения для ОЭС Беларуси (годовой объем выработки преимущественно на основе тепловых электростанций ~ 30 млрд кВт·ч, что не превышает 3% объема генерации в России). В работе [107] обосновано, что годовой эффект повышения эффективности использования мощностей путем выравнивания графика нагрузки составляет 71 млн долл., из которых только 45 млн долл. может быть отнесено на инвестиционную составляющую. Затраты, которые не являются инвестиционной составляющей, обусловлены большим удельным расходом топлива в отличных от номинальных режимах с частичной загрузкой; запусками и остановами не только нового, но и ранее эксплуатируемого оборудования, что в свою очередь негативно влияет на ресурс и аварийность энергоблоков; вызывает рост объема ремонтных работ, увеличение доли постоянных затрат на обслуживание электростанций и т.д. Эти сопоставимые с инвестиционной составляющей

затраты являются прямыми потерями. Налицо мультипликативный эффект снижения эффективности энергетики, когда на каждый рубль, вложенный в опережающий потребление рост энергетических мощностей, требуется оплатить примерно такой же объем дополнительных потерь, не поддающихся прямой монетизации и обусловленных технологическими особенностями отрасли. Величина этих издержек не может быть определена в полной мере, и как утверждают авторы [107], не исключено наличие еще не уточненных составляющих, негативное влияние которых еще более поддается оценке.

Таким образом, повышение ЧЧИМ является существенным внутренним резервом роста эффективности энергоснабжения, который определяется принятой концепцией развития энергетики в части строительства новых мощностей и управления спросом на электроэнергию в отличие от экзогенных, внешних для любой страны параметров (например, обеспеченности топливом, волатильности мировых цен на энергоносители и т.д.). В случае повышения эффективности использования действующих мощностей возникает возможность обеспечить устойчивое энергоснабжение при меньшей мощности энергосистемы.

По сути, требуется переход к новой средовой системе, включающей в себя всех участников технологической цепи «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов», сфокусированной на оптимизацию работы существующих тепловых и атомных электростанций. Такая постановка вопроса полностью соответствует задаче интеграции возобновляемых источников энергии с минимальными издержками.

Концепция устойчивого развития скорректировала вектор научно-технического развития в направлении сокращения негативного влияния на окружающую среду и перехода к ресурсосберегающему типу развития вместо наращивания потребления природных ресурсов. Применительно к энергетике задача снижения потребления ископаемых ресурсов и сокращения выброса парниковых газов определила концентрацию усилий на возобновляемых источниках энергии, что можно видеть, например, на основе анализа количества подаваемых патентных заявок, относящихся к возобновляемой энергетике [308, 539]. В результате, несмотря на появление проблем нового качества, вызванных развитием ВИЭ, а именно дефицита редкоземельных металлов [528], происходило и происходит неуклонное снижение стоимости производимой ими электроэнергии [577].

Например, в 1990 г. стоимость солнечной панели составляла 10 долл./Вт, в 2006 г. ~ 4 долл./Вт, в 2012 г. ~ 1 долл./Вт, в 2016 – 0,36 долл./Вт. Коэффициент использования установленной мощности солнечных электростанций (СЭС) в США увеличился с 14% в 2010 г. до 27,2% в 2016 г., а эксплуатационные затраты снизились до 5–9 долл. за МВт·ч [529]. Электроэнергия, получаемая на основе солнечных панелей,

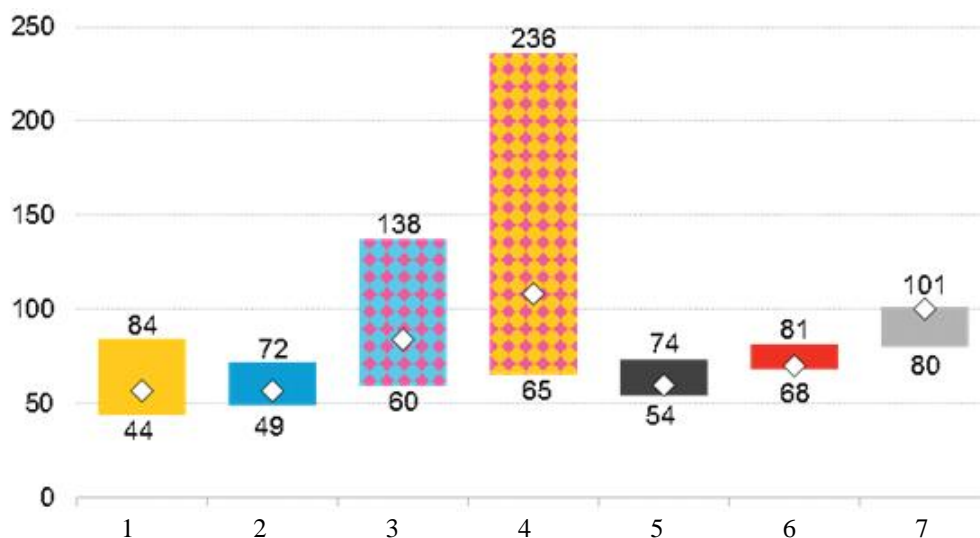
только в период 2010–2015 гг. подешевела на 58% [530]. Согласно [530] в 2017–2025 гг. ожидается дальнейшее снижение стоимости солнечной энергии на 57%, а согласно [531] – на 66% к 2040 г. В отличие от солнечной энергетики в ветроэнергетике наблюдается стабилизация удельных капитальных затрат на протяжении 15 лет на уровне 1500–2000 долл. за кВт установленной мощности, которые в 2016 г. составили в США 1590 долл. Снижение стоимости электроэнергии достигается путем повышения коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), который, например, в США с 0,25 в 2000-х гг. повысился до среднего значения 0,42 для установок 2016 г. (0,54 на наиболее удачных проектах). Данный процесс является результатом улучшения эксплуатационных характеристик ветроустановок; в частности, снижения стартовой скорости ветра, при которой установки способны начать генерировать электроэнергию за счет увеличения высоты мачты, длины лопастей и т.д. В итоге стоимость электроэнергии наиболее удачно расположенных ветровых электростанций (ВЭС) США не превышает 20 долл. за МВт·ч [532]. При этом прогнозируется, что в перспективе стоимость электроэнергии расположенных на суше ВЭС снизится на 47% к 2040 г. [531].

По мере снижения издержек интеграции единичных ветровых и солнечных установок в энергосистему происходит сокращение разницы между стоимостью генерации крупными ветровыми и солнечными парками и индивидуальными источниками. Сегодня регионы, где генерация ВИЭ имеет меньшую стоимость по сравнению с традиционной энергетикой, узко локализованы и определяются наиболее благоприятными климатическими условиями. Но при прогнозируемых темпах изменения стоимости генерации будет происходить расширение этих территорий и цена на электроэнергию ВИЭ в 20–30 долл. за МВт·ч (2–3 цента за кВт·ч) и менее станет достаточно распространенным явлением. Особенностью роста ВИЭ является влияние на развитие всех звеньев неразрывной технологической цепочки «производство-потребление энергетических ресурсов». Режимы работы ветровой и солнечной энергетики отличаются от тепловых электростанций и задаются погодными факторами, а не потребностями потребителя. Но вне зависимости от состава генерирующих мощностей электроснабжение с точностью до потерь подразумевает эквивалентность объема производства и потребления электроэнергии.

Генерация нерегулируемых, зависящих от погодных условий ВИЭ определила качественные изменения процесса согласования производства и потребления электроэнергии, в корне отличающиеся от традиционных, нарабатываемых на протяжении всего периода становления энергетики алгоритмов. Их суть заключается в том, что вместо изменения графика производства электроэнергии под заданную потребителем нагрузку возникла необходимость настраивания графика потребления под извне заданный профиль генерации ВИЭ, зависящий от силы ветра, переменной облачности

и т.д. Если ранее нагрузка потребителя определяла профиль генерации, то интеграция в технологический процесс «производство–потребление» нерегулируемых ВИЭ актуализировало совершенно иную задачу: обеспечить надежное энергообеспечение в условиях выполнения стохастически изменяющийся во времени производственной программы, задаваемой ветровыми и (или) солнечными генераторами.

Поэтому рост ВИЭ обусловил не только изменение функционирования производственных систем энергетики в области генерации электроэнергии, но и трансформацию всей технологической цепочки «производство-потребление энергетических ресурсов». В результате в последние десятилетия вектор развития потребителей электроэнергии все в большей степени стал фокусироваться на согласовании графика нагрузки с экзогенно заданным, изменяющемся во времени потоком мощности ВИЭ. Это проявилось в опережающем развитии систем аккумулирования; развитии технологий управления спросом; преимущественном развитии генераторов электроэнергии, интегрированных в структуру электротехнических комплексов и систем потребителей электроэнергии; изменении принципов построения систем защиты и автоматики и т.д. Задачу согласования и управления всех этих процессов на различных участках технологической цепочки «производство-потребление» выполняет комплекс технологий, объединенных под названием интеллектуальные сети (smart grid). При этом издержки интеграции ВИЭ в энергосистему составляют десятки процентов от стоимости не диспетчеризированной генерируемой ими энергии, что можно видеть на примере Китая по состоянию на 2019 г. (рис. 2.21) [536].



**Рис. 2.21. Сравнение средних значений стоимости не диспетчеризированной энергии ВИЭ (СЭС без системы слежения за движением солнца (1), ВЭС на суше (2)); их энергии, приведенной в соответствие с графиком потребления на основе накопителей (3,4), а также угольных (5), атомных (6) и газовых (ПГУ) (7) электростанций в Китае, 2019 г., долл. США/МВт·ч**

Развитие ВИЭ в первую очередь происходило в развитых странах, обладающих не только высоким уровнем технологического развития, но и экономическим потенциалом, позволяющем поддерживать весьма затратный процесс массового внедрениякратно более дорогих генераторов электроэнергии [557]. В [493] показано, что требующий наибольшего объема дотационного финансирования первоначальный этап стартапа развития как ветровой, так и в особенности более капиталоемкой солнечной энергетики, был оплачен европейскими потребителями электроэнергии. Например, по такому показателю как мощность солнечной энергетики на 1000 жителей в 2012 г. Германия превосходила США более чем в 20 раз (301,47 и 13,97 кВт). Если в 2003 г. EEG-налог (акциз на весь объем электроэнергии, направляемый на развитие альтернативной энергетики) в Германии составлял 0,4 цента за кВт·ч, то в 2013 году он вырос до 5,28 центов за кВт·ч, в 2016 г. – до 6,35, в 2017 г. превысил 7 центов за кВт·ч [533]. Сдержанное отношение к развитию ВИЭ в США по сравнению с европейскими странами на протяжении времени, в течение которого произошло кратное снижение стоимости генерации возобновляемых источников до значений сопоставимых, а то и более низких относительно традиционной энергетики, имело и имеет существенное значение для обеспечения конкурентоспособности американской экономики, где в отличие от цен на электроэнергию в Европе стоимость кВт·ч для промышленных потребителей в приведенных ценах поддерживается неизменной на уровне 7–8 центов с 1960-х гг. прошлого века. Однако из запаздывающего по отношению к европейским странам начала развития ВИЭ в США вовсе не следует перспектива их отставания в последующий период. Например, в Калифорнии поставлена задача обеспечить половину электропотребления на основе возобновляемой энергетики к 2026 г., а в 2045 г. полностью перейти на возобновляемые источники. Можно обсуждать целесообразность достижения этих целей, а также обоснованность указанных сроков, но невозможно отрицать, что доля ВИЭ в выработке электроэнергии Калифорнии в 2017 г. превысила 27%. То есть Калифорния опередила большинство европейских стран по этому показателю.

Аналогичная ситуация характерна и для китайской экономики, где значимый прирост мощности ВИЭ происходит в последнее десятилетие: сохранение цен на электроэнергию для промышленных потребителей и прагматичный подход к развитию ВИЭ до достижения конкурентоспособной по сравнению с традиционной энергетикой стоимости производимой ими электроэнергии.

Поэтому следует сделать вывод относительно подходов к развитию ВИЭ столь необходимый для обеспечения стратегической энергетической безопасности и устойчивости экономики Российской Федерации: защита промышленного производства от негативного влияния на экономическое развитие в результате роста цен на электроэнергию и выжидательная тактика до тех пор, пока технологии возобновляемой генерации не выйдут на режим, близкий к самоокупаемости в данном географическом ре-

гионе, не является препятствием ни для выхода на лидирующие позиции, ни для постановки и достижения достаточно амбициозных целей по развитию ВИЭ. А попытки догнать технологическое направление, где реализованные проекты на основе технических решений всего пятилетней давности становятся устаревшими, и издержки производства электроэнергии на их основе превышают аналогичные показатели текущих решений на десятки процентов – является тупиковым вариантом, даже при условии частично безвозвездного получения такого оборудования. Подтверждением данному утверждению является динамика КИУМ Куликовской ВЭС в Калининградской области, где на протяжении более 10 лет число часов использования установленной мощности не превышает 400 часов в год.

Необходимость проведения энергетической политики, направленной на сдерживание роста стоимости электроэнергии, для России намного более актуальна по сравнению с другими странами по следующим причинам. В 2018 г. доля России в мировом ВВП составила 1,9%, в потреблении электроэнергии превысило 4,3%. Соотношение этих значений показывает высокую электроемкость отечественной экономики. Еще большее отличие характерно для показателей энергоемкости. В отличие от других стран, потребление топливно-энергетических ресурсов в России на цели теплоснабжения выше по сравнению с их расходом на производство электроэнергии. Отсюда следует, что степень влияния стоимости энергоснабжения на экономическое развитие имеет значительно большее значение по сравнению с другими странами, а проблемы тепло и электроснабжения должны рассматриваться комплексно.

Следует выделить два направления развития энергетики: продолжение совершенствования технологий в области производства электроэнергии в соответствии с действующей концепцией развития энергоснабжения и возвращение к подходу, характерному для отечественной энергетической школы – достижению общесистемной эффективности путем развития всех звеньев единого технологического процесса «производство-потребление энергетических ресурсов». А так как в последние 15 лет после проведенной реформы энергетики основное внимание уделялось области генерации, то следует сконцентрировать усилия на совершенствовании технологических процессов в области потребления: к переходу от удовлетворения спроса на электроэнергию к его формированию путем изменения графика нагрузки за счет корректировки технологических процессов у потребителя и развитию собственной генерации у потребителя с использованием его технологических возможностей обеспечения выработки электроэнергии.

Трансформация концепции развития энергетики в направлении совершенствования технологических процессов потребителя в краткосрочной перспективе полностью соответствует задаче снижения стоимости энергоснабжения за счет повышения эффективности использования существующих генерирующих мощностей, а в буду-

щем, по мере снижения стоимости генерации ВИЭ, к их интеграции в технологическую цепочку «производство-потребление энергетических ресурсов» с минимальными издержками без удорожания стоимости электроэнергии. Есть все основания утверждать, что она жизненно необходима и единственно возможна. Без ее хотя бы частичной реализации и продолжения движения в рамках действующей концепции энергообеспечения возникнет необходимость реализовывать альтернативные решения по согласованию графика спроса и генерации электроэнергии. Помимо перевода энергоблоков, предназначенных к несению базовой нагрузки, в режим покрытия пикового спроса наиболее вероятным и соответствующим мировой практике сценарием будет строительство гидроаккумулирующих станций (ГАЭС). Любые системы накопления имеют КПД менее единицы, а наиболее доступные решения на основе ГАЭС – 60% [590]. В итоге фактический расход топлива на электроэнергию, прошедшую диспетчеризацию с участием систем аккумулирования, вырастает до 66% по отношению к сегодняшнему среднему удельному расходу топлива в энергосистеме: с 330 до 500 г у.т./кВт·ч и более. С другой стороны, подтвержденный удельный расход топлива на производство электроэнергии при утилизации попутного тепла на когенерационных установках составляет 160 г у.т./кВт·ч [152, 213]. То есть диспетчеризация электроэнергии ВИЭ на основе систем аккумулирования электроэнергии приводит к существенному снижению эффекта сокращения потребления топлива в результате перехода на ВИЭ по сравнению с решением той же задачи за счет использования маневренной распределенной когенерации с утилизацией попутного тепла, работающей по электрическому, а не тепловому графику.

Таким образом, строительство капиталоемких (особенно в равнинных условиях Российской Федерации) гидроаккумулирующих электростанций приведет не только к дополнительному росту стоимости электроэнергии, но и в итоге к существенному нивелированию эффекта по сокращению потребления топлива, который будет получен в результате работы ВИЭ.

## ***Выводы к главе 2***

1. Доля России в потреблении электроэнергии выше ее доли в мировом ВВП. Поэтому способность обеспечить электроэнергией экономический рост, снижение уровня бедности и улучшение качества жизни по доступным ценам для нее имеет большую значимость по сравнению с другими странами.

2. Причиной постоянно растущих издержек энергообеспечения является ряд прошедших в процессе реформы электроэнергетики дезингрессий, что привело к гипертрофированному росту объектной компоненты тетрады. Согласно действующей в энергетике концепции под системой понимается совокупность энергообеспечивающих



предприятий, целью функционирования которых является удовлетворение спроса на энергетические ресурсы энергопотребляющих предприятий и населения. При этом задачей планирования развития энергетики является обеспечение этой потребности (как экзогенно заданной программы) с минимальными издержками.

3. В условиях независимого развития энергосистемы и внешних для неё потребителей применяемые в настоящее время организационно-экономические механизмы, направленные на снижение стоимости энергоснабжения, малоэффективны: произошла отмена ежегодного перевода на один час летнего времени; практический опыт показал слабую мотивацию потребителей к участию в регулировании графика потребления электроэнергии с учетом многозонных тарифов – снижение платежей составляет порядка 5%; маржинальная система ценообразования при существующем разбросе эффективности действующей генерации, не способствуя снижению издержек генерирующих компаний, гарантирует регресс экономической системы. Это выражается в росте капитализации субъектов электроэнергетики за счет других агентов: происходит практически полное подавление капитала агентов, не являющимися субъектами энергетики. В итоге средняя рентабельность большинства электроэнергетических компаний превосходит аналогичные показатели других отечественных отраслей промышленности.

4. Сформировалась устойчивая тенденция выделения в составе электротехнических комплексов и систем потребителей части электроустановок, имеющих непрерывный базовый режим потребления, с дальнейшим их электроснабжением в автономном режиме от собственных источников. Результатом является преимущественный уход из энергосистемы нагрузки, обеспечивающей непрерывный профиль спроса на электроэнергию, что ведет к дальнейшему росту неравномерности совокупной кривой спроса. Рост переменной составляющей суммарного спроса на электроэнергию приводит к увеличению спроса на дорогую пиковую генерацию.

5. Рост спроса на пиковые источники как показатель снижения структурной устойчивости, обуславливая ввод новых энергетических мощностей, приводит к снижению числа часов использования установленной мощности в энергосистеме. Высокая цена на электроэнергию и низкая эффективность загрузки энергетических мощностей взаимосвязаны. В странах с низким показателем ЧЧИМ цены на электроэнергию выше. Эластичность цены электроэнергии для промышленных предприятий по ЧЧИМ для стран с низкой обеспеченностью топливом 1,4; для стран с относительно доступным топливом 2,2. В 1950–1990-х гг. был сформирован долгосрочный тренд повышения ЧЧИМ. После распада СССР и резкого спада производства этот показатель снизился и продолжает снижаться в результате роста количественных показателей функционирования энергосистемы.

Таким образом, разбалансированность тетрады, выражающаяся во фрагментарности, которая характерна в действующей практике работы сетевой инфраструктуры, генерирующих мощностей, потребителей энергии, систем жизнеобеспечения, приводит к существенным системным потерям. И наоборот, гармонизацией компонент тетрады за счет ликвидации фрагментации различных типов (вертикальной – в звене производитель – потребитель; горизонтальной – между производством различных видов ТЭР для отраслевых комплексов) является путем получения синергического эффекта повышения эффективности энергоснабжения.

## ГЛАВА 3.

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

### *3.1. Качественное энергоснабжение и возможности роста российской экономики*

Наука все в большей степени обеспечивает максимальный объем прироста производительности в обществе [611, 615]. Если в экономике рабовладения доминирующее значение соответствовало фактору труда, феодальной – фактору земли, капиталистической – фактору капитала, то в сегодняшней – фактору технологий [608]. Ключевая тенденция мировой экономики последних десятилетий – переход к экономике, основанной на знаниях [609, 614]. Происходит замещение значимости капитала технологиями. Подтверждает этот тезис анализ интенсивности разработок по ключевым направлениям, определяющим технологическое лидерство [612, 613]. Потеря лидирующих позиций в экономике происходит после потери лидирующих позиций в научно-технических разработках, что количественно выражается в снижении доли ежегодно получаемых патентов. Более детальный анализ показывает, что сокращение доли полученных патентов по направлению компьютерные технологии предшествует сокращению доли страны во всех патентных заявках в мире, что и произошло в СССР в 1980-х гг., в Японии в 1990-х гг., происходит в США в настоящее время [610].

Развитие компьютерных технологий предполагает обеспечение надежного и не сдерживающего рост экономики электроснабжения. Всеобщая электрификация выступает основой всеобщей автоматизации, или компьютеризации производительных сил. Действует принцип последовательности: компьютеризируется или автоматизируется только то, что электрифицировано. Вначале общество добивается электрификации, и лишь затем оно получает возможность автоматизации своих производительных сил, и ключевая роль переходит к разработкам в области компьютерных технологий. Обратный ход исторического процесса невозможен: нельзя компьютеризировать или автоматизировать то, что не электрифицировано [369].

По мере насыщения производства и быта электронными приборами у потребителя возрастают требования к обеспечению качества электроэнергии [370]. Современные устройства управления технологическими процессами потребителей особо чувствительны к провалам напряжения. Допустимые провалы напряжения для таких устройств составляют  $0,8 U_{ном}$  и длительности до 0,02 с, после чего возникают сбои в программах управления, ведущие к аварийным остановам технологических процессов. Для надежной работы современных станков предъявляются требования к качеству

электроэнергии, соблюдение которых весьма проблематично в российской глубинке. Принципиально отличаются требования к качеству и надежности энергоснабжения необходимых для замены лампы или керосиновой лампы на электроосвещение и для современных технологических процессов, без которых не возможен переход к построению цифровой экономики. Это связано с более высоким уровнем компьютеризации, являющейся источником повышения производительности экономики XXI в., необходимостью последовательного замещения станочного парка на новые модели, неотъемлемой частью которых является электронное управление. Чем более высокого уровня автоматизации достигает производство, тем более уязвимым оно становится к перебоям в энергоснабжении. Так по данным обследования, проведенного в 2018 г. Промышленным центром энергоснабжения (Санкт-Петербург) Сенежского ЦБК, перерыв электроснабжения предприятия на 2 сек. приводит к сбою технологического процесса производства бумаги, для восстановления которого требуется 10–20 часов.

Требование компьютеризации экономики, обусловленное широким использованием новых информационных технологий, является повсеместным, универсальным и постоянно возрастающим. Например, в США в настоящее время более 10% электроэнергии потребляется компьютерным оборудованием. Во всем мире наблюдается возникновение целого ряда факторов, определяющих необходимость кардинальных преобразований в электроэнергетике: общая тенденция к повышению уровня автоматизации процессов; появление и развитие новых технологий, устройств и материалов, потенциально применимых в сфере электроэнергетического производства, и, в первую очередь, нарастающие темпы и масштабы развития компьютерных и информационных технологий; повышение требований потребителей к набору и качеству услуг [324].

Анализ работ по тематике качества энергоснабжения позволяет сделать вывод о том, что в нынешних реалиях требования к качеству электроэнергии по совокупности физических свойств, необходимые для формирования цифровой экономики [325], постоянно возрастают. Причиной тому являются автоматизация производственных процессов и проникновение информационно-коммуникационных технологий во все сферы современного бизнеса. Цифровое оборудование – компьютеры, серверы, электронные хранилища данных, маршрутизаторы и многие другие устройства – становятся все чувствительнее к электромагнитным помехам и перепадам напряжения в сети. Если ранее уровень надежности электросети 99,6% считался достаточным для большинства производств, то в настоящее время требования к надежности сети возросли до 99,97%. Поэтому, хотя технические мероприятия, необходимые для повышения качества электроэнергии, являются дорогостоящими и некоторое время назад считались избыточными, их неизбежность в условиях формирования новых высокотехнологичных отраслей экономики становится все более очевидной [444].

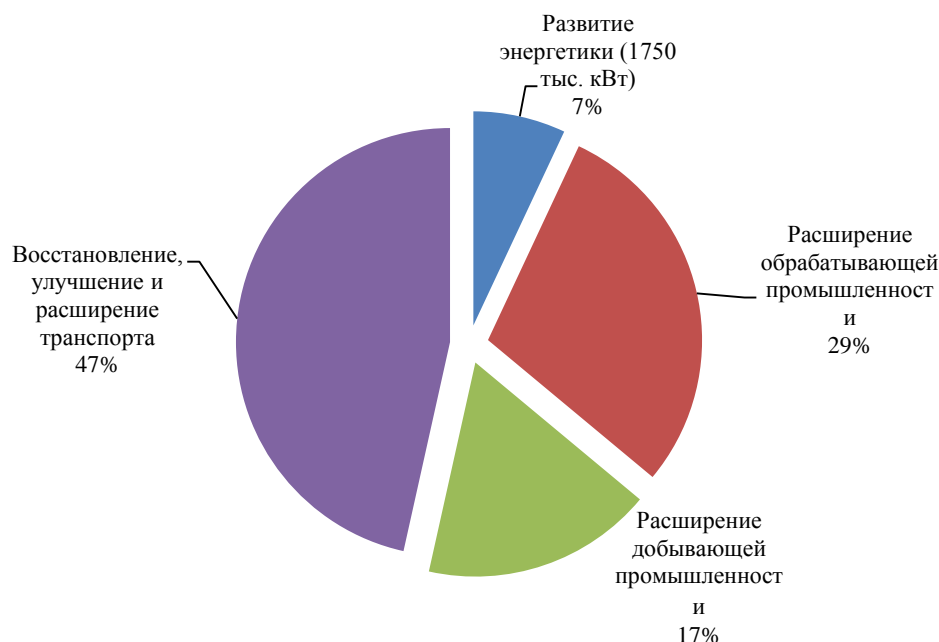
Но параметры промышленной питающей электросети в ряде случаев не соответствуют требованиям не только ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [434], но и ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения» [210]. Влияние совокупности факторов приводит к отклонению параметров сети от норм и ухудшению качества электроэнергии. Рассмотрим причины данного явления в историческом контексте. Формулирование основных положений альтернативной концепции без краткого исторического анализа, без опоры на предшествующую динамику развития энергетики было бы методологически не верно.

Предыстория плана ГОЭЛРО показывает, что осознание необходимости его разработки зародилось и сформировалось в конце XIX – начале XX вв. в период стремительной капитализации России. К 1915 г. уже были разработаны проекты крупнейших станций будущего плана, сформулированы основные положения стратегии развития энергетики, осуществлены практические шаги по электрификации России.

В разгар Гражданской войны, ВЦИК и Президиум Высшего Совета Народного Хозяйства приняли решение о создании Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО). Окончательно план ГОЭЛРО был утвержден VIII съездом Советов в декабре 1920 г. План ГОЭЛРО должен был стать тем рычагом, с помощью которого возможно было поднять из руин разоренную войной страну. Это был первый не только в России, но и во всем мире перспективный план развития народного хозяйства [179]. План ГОЭЛРО был единой и всеобщей программой народнохозяйственного строительства и представлял собой единую концепцию возрождения и развития страны и ее конкретных отраслей, а главным средством полагал максимально возможный *подъем производительности труда на основе электрификации производственной деятельности*. По сути дела, ГОЭЛРО стал в России первым государственным планом и положил начало всей последующей системе планирования в СССР, предвосхитив теорию, методику и проблематику будущих пятилетних планов. Согласно расчетам Комиссии ГОЭЛРО, финансовое обеспечение планировавшихся программ выглядело следующим образом (рис. 3.1):

При относительно скромной доли собственно энергетики на первом месте находился транспорт, преимущественно твердых горючих ископаемых, нефти и продуктов нефтепереработки (46,3%), на втором – обрабатывающая индустрия (29,2%) и на третьем – добывающие отрасли (17,5%), включающие в себя угле, торфо, нефтедобычу. Это свидетельствует об общеэкономическом характере плана, охватывавшем вопросы развития всех важнейших секторов промышленности [180]. *Расходы на развитие энергетики закладывались в размере 7% от общего финансирования программы.*

Развитие энергетики (1750 тыс. кВт)	1,2 млрд р.
Расширение обрабатывающей промышленности на 80%	5,0 млрд р.
Расширение добывающей промышленности на 100%	3,0 млрд р.
Восстановление, улучшение и расширение транспорта	8,0 млрд р.
<b>ВСЕГО</b>	<b>17,2 млрд р.</b>



**Рис. 3.1. Структура сметы плана ГОЭЛРО**

План ГОЭЛРО был ориентирован не только на вопросы, связанные непосредственно с энергетикой как областью, определяющей в огромной степени развитие экономики страны, но и являлся предварительной основой для выработки концепции развития других отраслей экономики. По сути, осуществлялся глубокий комплексный анализ вопросов, потребности в энергетике обосновывались сопутствующей проработкой тех или иных направлений развития экономики страны. Тем самым план ГОЭЛРО выходил далеко за рамки чисто энергетической проблематики, так как вмещал в себя все то, что могло быть определено категориями развития тех или иных направлений экономики страны [405].

То есть электрификация народного хозяйства изначально являлась категорией более емкой в сравнении с сегодняшним определением энергетики, даже при условии, что оно объединяет вышеперечисленные области топливоснабжения. Поэтому вопрос взаимосвязи энергетики и электрификации рассмотрен более подробно. Согласно Большому энциклопедическому словарю, *электрификация – это широкое внедрение в производство и быт электрической энергии для повышения производительности труда и эффективности производства* [181]. Электрификация существенно изменила характер производства, уменьшив потребности в рабочей силе, освободив человека от тяжелого физического и низкоквалифицированного труда. Значение электрификации заключается в том, что она является основой для механизации и автоматизации производства, а также химизации производства, способствует повышению эффективности

производства: увеличению производительности труда, улучшению качества продукции, снижению ее себестоимости, увеличению объема производства и прибыли на предприятии. Так, давно установлена прямая связь между производительностью и электровооруженностью труда [182].

Сущность электрификации состоит в органическом единстве производства электроэнергии и замены ею других форм энергии в различных сферах общественного производства, в той или иной мере использующих энергию. Уровень электрификации еще не соответствует потребностям страны, возможности электрификации в развитии производительных сил страны далеко не исчерпаны. По сути, завершился только первый этап электрификации, на котором использовались физические свойства электричества превращаться в механический и световой виды энергии. Это позволило электрифицировать главным образом силовые процессы, использующие энергию как двигательную силу. Закончился процесс вытеснения электричеством всех других энергоносителей и в освещении. Электрификация силовых процессов коренным образом преобразила двигательный аппарат и в соответствии с ним орудия труда отраслей материального производства, прежде всего промышленности.

Электрификация стала одним из главных направлений коренных преобразований промышленных технологий, потому что она обладает многими технологическими и экономическими преимуществами. Электрическая обработка повышает качество, надежность и долговечность уже известных видов продукции, позволяет создать изделия с новыми потребительскими свойствами, что расширяет рамки производства и личного потребления [182].

На железнодорожном транспорте введение электротяги повысило пропускную и провозную способность однопутных линий в 1,5–2 раза, двухпутных – в 2–2,5 раза; Электрификация ж. д. обеспечила рост энерговооруженности, что привело к повышению производительности труда: на линиях с электротягой она почти в 1,5 раза выше, чем на линиях с тепловозной тягой, а в пригородном сообщении – более чем в 2 раза [183].

В сельском хозяйстве электрификация облегчила труд, повысила его производительность и культуру [184]. Электрификация работ в животноводстве повышает производительность труда при принятом методе содержания скота в 2,5–3 раза, а при переходе на прогрессивные способы содержания – в 10–15 раз [185].

Целенаправленная политика по проведению электрификации России позволила охватить пригодные для земледелия и густонаселенные районы. Если в 1950 г. только 15% колхозов и 76% совхозов использовали электроэнергию, то с целью использования электроэнергии для подъема производительности труда согласно [396], предусматривалось к 1967 г. обеспечить все колхозы и совхозы электроэнергией за счет выполнения широкого круга мер по электрификации сельского хозяйства, строительства 1400 тыс. км линий электропередач, предназначенных для электрификации

колхозов, совхозов, других сельскохозяйственных предприятий и организаций. В результате уже в 1973 г. доля электрифицированных хозяйств возросла до 99,9% [186]. К концу 8-й пятилетки оснащение колхозов и совхозов основными электротехническими машинами позволило полностью механизировать наиболее важные и энергоемкие операции, в итоге стоимость валовой продукции, выработанной одним работником в сельском хозяйстве, например, Саратовской области возросла на 61,9%, в Волгоградской – на 67, в Астраханской – на 38,7%. Осуществляя общую программу электрификации сельского хозяйства, строители и сельские энергетики Саратовской области добились того, что к 1965 г. в области не осталось хозяйств, не пользовавшихся электроэнергией [397]. Несмотря на достигнутый уровень доступности электроэнергии на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, XXVI съезд КПСС поставил задачу дальнейшей, последовательной электрификации народного хозяйства, как необходимого условия ускорения перевода экономики страны на интенсивный путь развития. Энергетическая программа СССР предполагала ускоренные темпы электрификации народного хозяйства. Подчеркивалось, что электрификация является важным фактором научно-технического прогресса, повышения качественного уровня и эффективности производства, роста производительности общественного труда и народного благосостояния. В заключительном решении съезда отмечалось, что *едва ли не большее значение, чем просто количественный рост энерговооруженности труда, имеет последовательно проводимый принцип опережающего роста качества используемой энергии* [186].

Неразрывная связь энергетики и электрификации, комплексный подход к вопросам производства и потребления электроэнергии позволил советской энергетической школе по целому ряду показателей достичь лучших мировых показателей в электрификации народного хозяйства. Несмотря на достигнутые показатели в рамках работы *Министерства энергетики и электрификации СССР* отмечалось, что инженерно-технические работники недостаточно ведут работу по эффективному использованию машин и оборудования, комплексной механизации и электрификации производственных процессов, электрификация производственных процессов и удовлетворение бытовых нужд населения, особенно в сельской местности, осуществляются медленно [185].

Центральный аппарат Министерства энергетики и электрификации СССР по состоянию на 1990 год среди прочих подразделений включал в себя: Главное научно-техническое управление энергетики и электрификации, Главное производственное управление энергетики и электрификации, Главное производственно-техническое управление электрических сетей и сельской электрификации. В итоге осуществлялось, с одной стороны, стимулирование, а с другой – оптимизация потребления электроэнергии, а также контроль качества электроэнергии на государственном уровне. Безусловно, можно привести множество примеров неоптимального управления энергопо-



реблением, но нельзя отрицать сам факт (пусть в ряде случаев не эффективного, не успевающего, а тем более не опережающего требований, которые возникали в связи с развитием электротехнических комплексов промышленных, сельскохозяйственных, коммунальных потребителей, появлением новых типов электроприемников) влияния государства на все участки неразрывного технологического цикла производство-потребление энергетических ресурсов. *По сути, изначально электрификация отражала интересы потребителя в электроэнергии, а с самоустранением государства от вопросов электрификации после упразднения Министерства энергетики и электрификации потребитель и вопросы эффективного использования электрической энергии окончательно выпали из определения энергетики.* Запросы и инициатива потребителя, как правило, не могли быть решены на локальном уровне, а замыкались на центральные плановые органы, где находились на второстепенном плане. В результате происходило постепенное накопление структурных дисбалансов в отрасли.

В этих условиях естественным образом произошло снижение внимания к проблемам конкретного потребителя, а затем и полное исключение последнего как одного из двух субъектов неразрывного процесса «производство-потребление ТЭР». На уровне макроэкономики возможности каждого отдельного потребителя в регулировании графика нагрузки не могли быть учтены. В итоге формировалась переразмеренная в части производства энергетических ресурсов система, отличительной особенностью которой стало исчезновение потребителя, устранение его как субъекта. Это привело к гипертрофии роста количественных (валовых) показателей (кВт·ч, Гкал, МВт установленной мощности и т.д.), преимущественному решению проблем энергообеспечения путем увеличения поставок электроэнергии, без анализа и реализации альтернативных возможностей удовлетворения спроса потребителя. Совершенствование и оптимизация энергопотребления оказались вне сферы интересов новой системы – российской энергетики, для которой потребитель стал внешним фактором.

В соответствии с общим тектологическим законом любое начавшееся расхождение углубляется, что приводит к дальнейшему снижению эффективности энергоснабжения. Происходит выход из состава нагрузки энергосистемы электроприемников с постоянным профилем потребления в результате их энергообеспечения от вновь вводимых источников собственной генерации, прекращение участия потребителей в поддержке напряжения на шинах нагрузки и т.п.

После отмены «Правил пользования электрической и тепловой энергией» (Приказ № 2 Минторэнерго от 10.01.2000 «О признании недействующими Правил пользования электрической и тепловой энергией»), потребители перестали участвовать в поддержании напряжения на шинах нагрузок. В результате более 50 тыс. МВАр (устройств компенсации реактивной мощности у потребителей) выпали из энергетического баланса, появились проблемы с поддержанием (повышением) напряжения на

шинах нагрузок, возросли потоки реактивной мощности по системообразующим и распределительным сетям к шинам нагрузок, ограничилась пропускная способность ВЛ по активной мощности и существенно возросли потери в сетях [243].

Говоря о надежности электроснабжения, нужно отметить работу [246], в которой показаны существенные недостатки в методических указаниях (МУ) Минэнерго России (Приказ № 296 от 29.06.2010) по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для электрических сетевых компаний [244]. Согласно [244] показатель надежности электрической сети не привязан к потребности потребителя в надежности его электроснабжения с запросом о возможной длительности перерыва в электроснабжении и теряемой мощности при его отключении (возможного недоотпуска электроэнергии и размера ущерба от него). Однако в [244] рассчитывается некоторый средний показатель продолжительности прекращения передачи электроэнергии по сети на одну абстрактную точку сети без учета класса напряжения, присоединенной мощности в этой точке. Другими словами, в МУ интересы потребителя не учтены при расчете так называемого показателя надежности. Кроме того, в МУ произошла подмена понятия качества поставляемого товара (электроэнергии) понятием качества обслуживания (качества менеджмента). Качество электроэнергии (как товара) определено в ГОСТ 32144-2013 [434] по ряду показателей, учет которых в тарифах на электроэнергию определялся по дополнительному прејскуранту в виде скидок (надбавок) к тарифам на электроэнергию за снижение качества электроэнергии по вине энергоснабжающих организаций или по вине потребителей [245]. Однако в МУ учет качества электроэнергии как товара отсутствует [246]. Как показано в [435], после принятия ГОСТ 32144-2013 четкое соблюдение новых принятых норм качества электроэнергии в части отклонений и провалов напряжений, а также уровню высших гармонических составляющих не гарантирует устойчивой работы оборудования потребителей.

В работах профессора МГОУ В.П. Проценко [34, 71] показано, что снижение внимания к проблемам потребителя и закономерностям использования электрической энергии вызвало утрату системных свойств и связей производства и конечного потребления энергии, независимое рассмотрение проблем объектов электроэнергетики и потребителей и явилось одной из причин накопления проблем в энергетике, роста электроемкости экономики.

Следует вспомнить, что академик Г.М. Кржижановский дал строгое определение энергетике, как структуры (системы), включающей и энергопроизводство, и энергопотребление [553]. Это определение было принято Комитетом по терминологии АН СССР, но впоследствии заменено ведомственно-отраслевым аналогом, согласно которому под энергетикой стали понимать производство любого вида энергии отраслями ТЭК: топлива, электричества, теплоты. Как видим, сфера энергопотребления здесь от-

существует. Поскольку не только на практике, но и в науке, образовании используют именно это понимание энергетики, то следует ответить на вопрос, почему первая, а не вторая ее трактовка, является строго научной? Ответ заключается в том, что все отрасли ТЭК производят промежуточную, а не конечную продукцию, под которой в энергетике понимается определенный результирующий эффект, а именно: обеспечение производства товаров и услуг, отопление, освещение, транспорт и т.д. И эффективный конечный результат может быть получен только при согласованном взаимодействии всех частей единой структуры – энергетики. Поэтому и планирование их развития должно быть только совместным, исключая искусственное расчленение единого «организма» – энергетики [71]. Одним из следствий подобного определения энергетики является нежелание воспринимать конечное потребление, как отдельную сформировавшуюся отрасль и признать электрику [68] полноправной частью электроэнергетики.

Отраслевая трактовка энергетики не только создает иллюзию решения энергетической проблемы, но по существу отводит второстепенную роль отраслям коммунальной и промышленной энергетики, а также, что особенно важно, развитию технологий и устройств конечного потребления энергии. Последние вместе с отраслями ТЭК и коммунально-промышленным сектором делают энергетику замкнутой системой, назначением которой является обеспечение производства ВВП и жизнедеятельности общества в целом [34]. Отсюда следуют разные подходы к развитию, а также критерии эффективности энергетики: не традиционно принятое на сегодняшний день опережающее наращивание мощностей ТЭК, а повышение эффективности использования имеющейся инфраструктуры.

Основные принципы построения существующей энергетической инфраструктуры в основном были заложены во второй трети XX века на этапе технологического развития, когда была четко выражена экономия от масштаба, определившая экономически справедливый на тот период рост единичных мощностей оборудования. Вполне закономерным для энергетики, в которой потребитель «выпал» из рассмотрения стала концентрация внимания на развитии производства, повышении единичных мощностей энергоблоков (до 1200 МВт), роста напряжения линий электропередач (до 1150 кВ). По этим параметрам в 1980-е гг. СССР достиг показателей, которые не только не повторены в мире по истечении трети века, но и не получили в стране-разработчике дальнейшего развития и тиражирования, а порой даже поддержания в эксплуатации (ЛЭП 1150 кВ).

Период развития электроэнергетики как отрасли народного хозяйства ненамного превышает сотню лет. На протяжении большей части этого времени происходило закономерно обоснованное сопоставление электропривода и того источника механической энергии, вытеснение которого он обеспечивал – рабочего скота. Характерным было постепенное вытеснение из топливно-энергетического баланса России ра-

бочего скота с 50 млн т у.т. в 1913 г., до 10 в 1940 г. и до 5 в 1970 г. [3]. Было сформировано представление о том, что электрификация и рост потребления электроэнергии неразрывно связаны. Однако оно не потеряло своей актуальности и остается справедливым в развивающихся странах, на что указывают данные о росте удельного (подушевого) потребления электроэнергии в этих странах [154]. В Российской Федерации на протяжении, по меньшей мере, 30 лет, возможности замены всех механизмов, допускающих перевод на электрический привод, подошли к насыщению и дальнейший рост производительности труда возможен за счет повышения эффективности использования существующего оборудования и замены его на более современные аналоги с использованием автоматизации. Коэффициент электрификации стационарных рабочих машин приблизился к 100%, после чего рост электровооруженности и необходимость роста потребления электроэнергии перестали быть доминирующими. Как отмечал академик Л.А. Мелентьев эффективность использования энергетических мощностей в бывшем СССР был стабильно выше, чем в США, а приведенное число часов работы электромоторов значительно ниже [3]. Это является одним из доказательств того, что лимитирующим фактором роста производительности труда был не объем потребления электроэнергии, а недостаточная эффективность ее использования потребителем: на протяжении десятилетий нарастало отставание советской энергетики в области конечного потребления по сравнению с высокотехнологичным развитием генерации. То есть плановые задания по росту мощности энергосистемы и объему выработки электроэнергии выполнялись, а вопрос эффективности использования установленных электроприемников находился за пределами компетенции энергетики. Таким образом, отставание в эффективности конечного потребления, а не недостаточная степень развития энергетики, которая происходила без взаимоувязки с интересами потребителя и в результате стала ограничивать экономическое развитие страны. В итоге формировалось два показателя: документальная оснащенность передовой техникой и фактическое ее использование. Если по первому показателю СССР занимал лидирующие позиции, то электродвигатели и насосы с завышенными мощностными параметрами, перерасход энергетических ресурсов в секторе потребления, не входящем в определение энергетики, привели к снижению структурной устойчивости и непропорциональному росту удельной энергоемкости экономики.

В связи с тем, что в СССР всегда первоочередным являлось развитие промышленности, ЖКХ развивалось по остаточному принципу. Начиная с создания Главного управления коммунального хозяйства (ГУКХ) НКВД РСФСР в 1921 г. [348], вопросы потребления и эффективности использования энергии в жилом секторе, непосредственно в домохозяйствах, коммунальных служб и т.п., были еще менее актуальны, что привело к созданию наиболее энергозатратной отрасли экономики СССР – ЖКХ.

Не менее важным фактором явилось кратное увеличение предложения доступных и дешевых энергетических ресурсов. Обоснованный в 1960–1970-х гг. принцип «Энергии у нас много, а жилье надо строить быстро и дешево» определил направление развития градостроения в СССР, а в последующем вопросы технической эксплуатации созданной системы. Эти принципы на момент их принятия не были в противоречии с основной установкой «экономика должна быть экономной». В самом деле, основные усилия необходимо прикладывать к оптимизации расходования лимитирующих ресурсов. На тот период таковыми являлись необходимость повышения благосостояния, снижения времени, которые тратили люди на отопление, пищуприготовление и т.д. [370], а энергетические ресурсы были дешевы, и создавать систему по минимизации их потребления не было первостепенной задачей. Однако в настоящее время трансформация соотношений стоимости ресурсов требует корректировки принципов, заложенных при построении существующей энергетической инфраструктуры.

Конкретизируем данное утверждение на примере сетевой инфраструктуры. Еще до системной аварии в Московском энергоузле в мае 2005 г. проектировщиком более 200 предприятий (Западно-Сибирского, Кузнецкого, Новосибирского, Карагандинского, Оскольского, Новолипецкого и т.д. металлургических комбинатов), автором свыше 20 ГОСТов, нормалей, норм, указаний по проектированию и строительству профессором МЭИ Кудриным Б.И. отмечалось, что сети и генерация могли в большинстве регионов обеспечивать двукратное отклонение по нагрузке без системных ограничений. Но, несмотря на этот двойной запас (оплачиваемый на протяжении всего периода времени в конечном итоге потребителем), они оказались плохо приспособленным к рынку. Дело в том, что потоки электроэнергии по стране были планомерно заданными. Априори директивно задавали источники, строили сети, при этом мощность генерации выбирали по оптимуму удельного расхода топлива на единицу выработанной электроэнергии. Очевидно, что для рынка генерация будет возникать стихийно, под потребителя, которому, вообще говоря, все равно: избыток мощности будет в районе (регионе) или дефицит. Замыкаясь на своих узкособственных интересах (и это правильно), он у себя оптимизирует затраты на потребление электроэнергии. Массовое строительство потребителями генерирующих мощностей, когда они ставят своей целью обеспечение до 70–90% общей расчетной нагрузки предприятия и совершенно не обращают внимания на возникшую недогруженность сетей энергоснабжающей организации, на относительно увеличивающийся рост потерь холостого хода в трансформаторных районных подстанциях ведет к разбалансированию работы региональных сетевых компаний. Как следствие – к снижению нормативных значений  $\cos \varphi$  и росту сетевых потерь. Существующие принципы проектирования и строительства главных понизительных подстанций предприятий оказались не соответствующими новым рыночным отношениям, что привело к фактической их загрузке существенно

меньше установленных нормами 70%, а в отдельных случаях – загрузке трансформаторов на уровне 15–20%. Совершенно неясно, что делать с нынешним существующим двукратным запасом по районным подстанциям и сетям, по главным понизительным подстанциям и внутригородским магистральным сетям, по системным линиям ФСК. Одновременно не удовлетворяются требования потребительского рынка в той или иной точке системы. В качестве общего вывода можно сказать, что потокораспределение по сетям плановое, существовавшее ранее и нынешнее рыночное, организуемое сейчас, не эквивалентны [108]. За 50 лет после написания этой работы, сформулированные в ней проблемы только усугубились, в том числе в результате роста потерь преимущественно в распределительных сетях. В результате на многих малых и средних производственных предприятиях на территории Российской Федерации качество питающей сети не соответствует требованиям для работы целого ряда оборудования. Причём, зачастую, потребители просто поставлены перед фактом недостаточного качества предлагаемого напряжения без возможности предъявления требований к его улучшению. Возможны различные последствия такого несоответствия – от ложного срабатывания защитных устройств до снижения качества выходной продукции предприятия [299].

В Российской Федерации системы электроснабжения сельских районов напряжением 6–10 кВ имеют общую протяженность 1184 тыс. км, ВЛ 0,38 кВ – 826 тыс. В эксплуатации находится около 500 тыс. трансформаторных пунктов 6–10/0,4 кВ. В процессе их строительства осуществляли курс на удешевление стоимости сетей. Доля алюминиевых проводов малых сечений до 50 мм<sup>2</sup> (а нужно не менее 70 мм<sup>2</sup>) составляет в ВЛ 6–10 кВ почти 25%, а 30% ВЛ 0,38 кВ смонтирована проводами сечением до 25 мм<sup>2</sup>, что не обеспечивает пропускную способность. Сети 6–10 кВ значительно больше нормативной длины 8–12 км (более 25 км – 13,3%, более 50 км – 2,2%), поэтому надёжность сельскохозяйственных и иных удалённых потребителей составляет 70–100 часов перерывов в электроснабжении в год (для сравнения за последние 15 лет длительность отключений в США составила 92 минуты в год для западных районов и 214 минут для северо-восточных. Аналогичный показатель в Японии составляет 4 минуты [359]), у 35% сельскохозяйственных потребителей не обеспечивается напряжение, падающее вечерами до 190–200 В, несимметрия по фазам в сетях 0,4 кВ доходит до 50% [108]. Аналогичные оценки надёжности энергоснабжения отмечаются и в работе [177]: *на сегодняшний день около 40% линий выработали нормативный ресурс и более 80% нуждаются в техническом перевооружении, длительность отключений потребителей составляет порядка 70 час в год на один фидер.* Мировая инженерная практика говорит о том, что воздушные ЛЭП напряжением 10 кВ протяжённостью 10 км без резервного (автономного) электроснабжения не позволяют организовать нормальное товарное производство [187]. Это утверждение явля-

ется определяющим для целых регионов: например, в ОАО «Псковэнерго» более 49% отпущенной электроэнергии потребляется на напряжении 0,4 кВ и более трети на 6(10) кВ [197]. При этом по данным исследования Национальной лаборатории им. Л. Беркли, ежегодные экономические потери от перерывов электроснабжения в США доходят до 80 млрд долл. Существенную величину составляют социальные потери, связанные с нарушением привычного образа жизни, а также со снижением уровня здоровья людей, а в некоторых случаях – и летальными исходами [324].

Среднее число повреждений, вызывающих отключения ВЛ напряжением до 35 кВ, составляет около 25 на 100 км линий в год. Надежность распределительных сетей существенно ниже, чем сетей более высокого класса напряжений. На долю первых приходится 70–75% общего числа повреждений в энергосистемах. Сети 6–35 кВ удалены от системных генерирующих источников двумя–тремя ступенями трансформации [178], т.е. являются наиболее слабым звеном системы энергоснабжения.

В связи с этим многие индивидуальные потребители вынуждены приобретать и устанавливать стабилизаторы напряжения, источники бесперебойного питания, что является решением, ухудшающим режим работы энергосистемы, так как стабилизаторы напряжения, являясь электроприемниками с достаточно низким коэффициентом мощности, способствуют еще большему росту потерь напряжения [230]. Налицо формирование положительной обратной связи, обеспечивающей дальнейшее усугубление ситуации. В наиболее проблемных участках сетевой инфраструктуры объективно формируются предпосылки для снижения качества электроэнергии по сравнению с другими, более благополучными участками, где отклонения качества энергоснабжения от нормативов не настолько сильно выражены и стремление потребителей их решить имеющимися у них способами не столь велико.

Экономический ущерб от недоотпуска электроэнергии превышает стоимость электроэнергии в 30–50 раз [601, 603]. По мере роста доли потребления на низком напряжении величина недоотпуска электроэнергии в связи с авариями в энергосистеме будет увеличиваться [602]. Другими словами, распределительные сети – наиболее слабое звено в технологической цепи производство–потребление электроэнергии. На основе анализа причин нарушений электроснабжения на примере сетей ПАО «Ленэнерго» можно указать, что в сельской местности таковыми являются воздействие стихийные явления, падение деревьев (веток) из-за атмосферных явлений (в сумме от 65 до 90% причин отключений), а в городской местности – неудовлетворительное техническое состояние оборудования (старение изоляции, потеря механической прочности провода, изменение свойств материалов и т.д.) (более 50% причин отключений) [604]. То есть прогнозирование локализации места аварии малоэффективно.

И если при изначально спроектированных расчетных режимах в планомерно работающей экономике соблюдение стандартов по качеству электроэнергии являлось до-

статочной сложной задачей, то по истечении трети века после изменения структуры электропотребления, обеспечение в российской глубинке возможностей экономического развития с применением современного оборудования является фактически невозможным. При этом речь идет не о районах автономного энергоснабжения, составляющих более 70% территории России, а о регионах с высокой плотностью населения, на которой охват централизованным электроснабжением составлял 99,9% еще по состоянию на 1973 г.

Таким образом, если определить электрификацию, как механизм повышения производительности труда и эффективности производства, позволяющий использовать современные электронные приборы, станки, средства автоматизации и т.д. в совокупности с обеспечением надежного и качественного энергоснабжения для его реализации, то этому определению будет соответствовать не территория централизованного электроснабжения, а участки, совпадающие с крупными городами, некоторыми воинскими объектами, покрывающие значительно менее 5% территории России. В такой постановке вопроса весьма проблематично говорить о состоявшейся электрификации не только потребителей, электроснабжение которых соответствует третьей или второй категории надежности, но и о высокотехнологичных промышленных предприятиях первой категории надежности электроснабжения: например, ОАО «КАМАЗ», где в течение 2014 г. работа высокотехнологичного оборудования из-за перебоев с подачей электричества нарушалась 65 раз [438].

В случае усиления определения электрификации требованием возможности заявительного подключения новых электроприемников, повышающих производительность труда, этой дефиниции будут удовлетворять островные участки, например, промышленные предприятия, снизившие объемы производства и, как следствие, имеющие возможность подключения нового оборудования в счет старых лимитов мощности. Очевидно, что только на этой территории в настоящее время может рассматриваться вопрос о возможности беспрепятственной со стороны энергосистемы неоиндустриализации и развития производства.

### ***3.2. Потребитель – ключевой элемент альтернативной концепции развития электроэнергетики***

Проведенный в предыдущей главе анализ подтвердил справедливость гипотезы, что основной причиной низкой результативности совокупности проводимых за последние десятилетия мероприятий по повышению эффективности энергоснабжения является действующая концепция развития энергетики, в рамках которой каждый хозяйствующий объект, стремясь в состояние близкое с его точки зрения к экономически оптимальному, создает условия для не только вертикальной (потребитель–



производитель электроэнергии) и горизонтальной (слабокоординируемое решение узкоотраслевых проблем электро-, тепло-, водо-, газоснабжения), но и региональной фрагментации. Поэтому требуется разработка альтернативной концепции развития энергетики (АК), устраняющей причины фрагментарного развития отдельных участков единой технологической цепочки «производство-потребление ТЭР».

Целью АК является повышение экономической эффективности энергоснабжения для обеспечения экономического развития страны на основе гармонизации отношений участников процесса производства, распределения и потребления электроэнергии за счет восприимчивости к инновационным решениям, а не оптимизация текущей деятельности каждым хозяйствующим объектом. Ее решение – рост общественной, а не коммерческой эффективности отдельных производственных единиц путем ингрессии всех участников производства и потребления электроэнергии и переход к сбалансированной тетраде. Для этого требуется трансформация электроэнергетики от объектной системы, когда каждый участник максимизирует свою прибыль, к интенсификации развития средовой и процессной систем [224] с целью гармонизации интересов потребителей и производителей электроэнергии.

При этом в большинстве случаев наименее затратные решения могут быть реализованы не столько за счет усложнения энергосистемы, сколько в результате создания условий для рационализации поведения потребителя. То есть нужна новая парадигма производственных отношений в энергетике [343].

В отличие от сегодняшней практики, когда производственная программа энергетики определяется как заданная сумма потребностей потребителей, предлагается альтернативная концепция развития электроэнергетики, основанная на изменении статуса потребителя из экзогенного элемента для совокупности субъектов электроэнергетики в органическую часть неразрывной технологической цепочки «производство-потребление топливно-энергетических ресурсов». Теоретико-методологической основой АК является переход к новой системе, включающей в себя помимо субъектов электроэнергетики потребителей электроэнергии, и последующее развитие новой системы во взаимодействии и во взаимосвязи с другими областями жизнеобеспечения. Система понимается как совокупность элементов и (или) отношений, закономерно связанных в единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у элементов и отношений его образующих [607].

Сегодня целью электроэнергетики является улучшение показателей производственной хозяйствующих объектов. Созданные после реформы электроэнергетики организационно-экономические механизмы в полной степени соответствуют достижению этой цели. В результате каждый из участников технологической цепочки «производство-потребление ТЭР» функционирует в состоянии близком к локальному оптимуму, с его точки зрения наиболее экономически эффективным, позволяющем достичь

наилучшие показатели рентабельности, обеспечивающем наибольшую прибыльность, предполагающем реализацию обоснованной стратегии развития, направленной на расширение деятельности, улучшение своих экономических показателей и т.п. Суть происходящих процессов иллюстрирует максимизация прибыли сетевых или генерирующих компаний на основе маржинальной системы ценообразования, развитие комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на пиковых районных станциях теплоснабжения (РТС), находящихся в зоне действия ТЭЦ и т.п.

В соответствии с принципом системности, заключающемся в том, что в результате рассмотрения объекта с позиции целого он представляет собой новый объект [607], у новой системы, дополненной совокупностью потребителей энергетических ресурсов, возникает новое свойство – восприимчивость к организационно-экономическим и организационно-техническим механизмам, обеспечивающим интересы этой расширенной системы.

Цель новой системы отражает интересы потребителей: снижение издержек и повышении эффективности функционирования технологической цепочки «производство-потребление ТЭР» как единого целого. Эта задача отличается от задачи оптимизации хозяйственной деятельности отдельно взятого потребителя и/или группы потребителей, достигаемой в части энергоснабжения путем снижения платежей за энергоресурсы. В настоящее время у потребителя есть два основных пути: энергосбережение и переход на собственное производство тепловой (котельнизация России [120, 247]) и (или) электрической энергии. Но это приводит к дальнейшей фрагментации единого технологического процесса производства-потребления ТЭР. Достижимый в большинстве случаев локальный эффект снижает издержки конкретного потребителя или улучшает эффективность снабжения конкретным ресурсом (водой, теплом, снизить потери в определенной части электросетей и т.д.) Но синергический эффект, достижимый в результате ингрессий независимо функционирующих объектов в единое целое при существующем уровне технологического развития, рост общесистемной эффективности, как правило, не обеспечивается.

Основы альтернативной концепции электроэнергетики:

- приоритетное развитие производственных процессов потребителя, сфокусированных на снижении издержек технологической цепочки «производство-потребление ТЭР»;
- переход от реализации проектов, направленных на улучшение отдельных параметров генерации или передачи электроэнергии, к повышению эффективности производственных систем электроэнергетики путем интеграции процессов производства и потребления электроэнергии;
- гармонизация традиционной и распределённой энергетики путем развития собственной генерации у потребителя с использованием его технологических возмож-

ностей обеспечения выработки электроэнергии, снижающего общесистемные издержки энергоснабжения, в том числе и на основе возобновляемых источников энергии, что предполагает координацию развития электроснабжения с другими областями жизнеобеспечения;

- совместное развитие электроснабжения и систем жизнеобеспечения потребителя, их координация и получение синергического эффекта от согласованного взаимодействия.

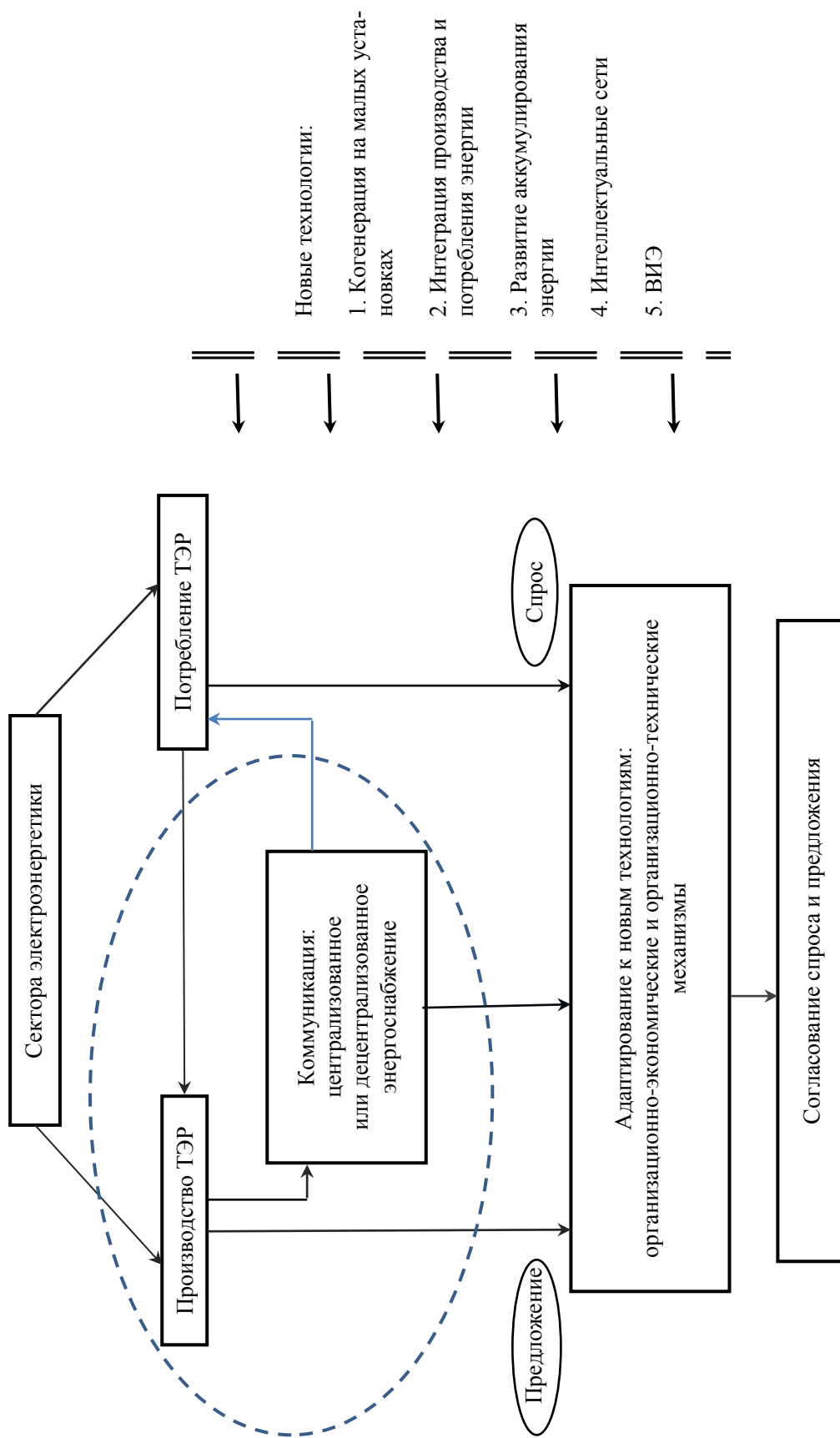
Использование новых организационно-технических и организационно-экономических механизмов увеличивает техническую надёжность энергетического оборудования, поскольку обеспечивается более стабильная его работа, уменьшается необходимость в переключении режимов, снижается скорость выработки его ресурса.

Структурно-логическая схема основных составных элементов альтернативной концепции представлена на рис. 3.2, а сравнительная характеристика альтернативной концепции с действующей в табл. 3.1.

Альтернативная концепция электроэнергетики, в отличие от решения фрагментарных задач по обеспечению роста эффективности отдельных подсистем, сфокусирована на получение синергического эффекта в результате совместного развития слабокоординируемых процессов жизнеобеспечения.

Синергия – это результат взаимосвязанных и координированных действий, которые способны проявляться в форме стратегического партнерства, взаимовыгодного сотрудничества, слияния и кооперативного взаимодействия [487]. Сущность «синергии» – целое становится больше суммы частей, т.е. взаимодействие двух и более стратегических единиц бизнеса компании в сумме дает больше, чем деятельность каждой из них в отдельности [486] и в результате ингрессий за счет согласованного поведения подсистем возрастает степень упорядоченности системы.

Применительно к организации синергия – это такое приращение ресурсного потенциала организации в процессе совместной деятельности ее членов для достижения поставленной цели, при котором полученный результат больше-меньше, чем простое сложение используемых ресурсов. Закон синергии означает, что для любой организации существует набор элементов, при котором ее потенциал всегда будет либо существенно больше простой суммы потенциалов входящих в нее элементов, либо существенно меньше. Существо эффекта проявляется через связи, которые устанавливаются между частями, т.е. связи являются необходимым организационными элементами [479]. Поэтому наряду с развитием технической инфраструктуры необходимо формирование системы производственных отношений, обеспечивающих устранение причин противоречий, возникающих вследствие фрагментарного развития частей [41].



**Рис. 3.2. Схема АК функционирования энергетики (пунктиром даны объекты действующей концепции)**

**Сравнительные характеристики альтернативной концепции (АК)  
с действующей концепцией (ДК)**

Критерий сравнения	АК	ДК
Статус потребителя	Составная часть технологической цепочки производство-потребление, основа средовой системы	Внешний элемент для объектной системы электроэнергетики
Институциональная структура	Н-распределение источников энергии	Высокая доля крупных источники генерации
Централизация энерго-снабжения	Централизованная схема, дополненная источниками распределённой энергетики	Централизованная схема
Степень интеграции источников генерации и потребления	Высокая, управление графиком потребления как один из механизмов обеспечения равномерной работы источников	Низкая, задача для производственных мощностей: выполнение экзогенной для них производственной программы, заданной потребителем
Порог для распространения когенерации	Низкий, использование теплового потребления для развития малых и средних источников	Высокий, использование крупного теплового потребления с приоритетом строительства парогазовых установок (ПГУ)
Потребность в регулирующих источниках	Низкая	Высокая
Уровень технической надёжности	Более высокая надёжность энерго-снабжения в распределительных сетях	Высокая надёжность магистральных сетей, проблемы распределительных сетей на втором плане
Метод обеспечения энерго-снабжения при авариях в энергосистеме	Переключение распределённой энергетики на выделенную нагрузку	Восстановление энергоснабжения после устранения аварии
Эффективность использования энергетических мощностей	Более высокая с потенциалом роста	Недостаточно высокая, имеет значительный нереализованный потенциал роста
Удельные издержки	Снижаются	Вышли на насыщение
Перспективы интеграции с ВИЭ	Минимальные издержки интеграции	Высокие издержки в связи с необходимостью создания резервирования на основе традиционной генерации
Подход к планированию потребления	Эволюционный	Непрерывно растущий спрос не только в развивающихся, но и в развитых странах

**3.3. Интеграция производителей и потребителей электроэнергии –  
путь повышения эффективности  
производственных систем электроэнергетики**

Рост эффективности производственных систем электроэнергетики в рамках новой системы, основанной на учете особенностей генерирующих, сетевых компаний и потребителей, достигается устранением вертикальной фрагментации в производстве, распределении и потреблении электроэнергии.

К энергообеспечению в период пикового спроса можно подойти как на основе ввода в эксплуатацию маневренных пиковых мощностей (этот сценарий является базовым в ДК), так за счет управления спросом путем трансформации технологических процессов потребителей, создав динамические связки ингрессии производителя и потребителя – условия, при которых возникнет заинтересованность в выравнивании графика нагрузки. Это альтернативный сценарий развития энергетики (см. рис. 2.19). Для базового сценария закономерным является снижение структурной устойчивости энергетики, что проявляется в увеличении спроса на пиковые энергетические мощности, создании различного типа аккумуляторов электроэнергии; переводе части тепловых станций в режим регулирования графика нагрузки; увеличении требований к количеству циклов для пуска новых тепловых энергоблоков, что не может не вести к усложнению их конструкции и, как следствие, к удорожанию; изменению требований к АЭС, согласно которым в непрерывном режиме требуется обеспечивать диапазон регулирования от 50 до 100% установленной мощности энергоблока [229]. Игнорирование возможностей потребителя по регулированию работы Единой энергетической системы России приводит как к необходимости создания нормативного резерва мощности в объеме не менее 20,5% от совмещенного максимума нагрузки Единой энергетической системы России [228], так и ожидания опережающего роста прогнозных значений максимума потребления мощности ЕЭС России по отношению к спросу на электроэнергию [318]. В рамках ДК заинтересованность бизнеса в новых инвестиционных программах, с защищённой доходностью капитальных вложений, будет оказывать давление в направлении выбора именно этого сценария развития электроэнергетики. Поэтому он назван «базовым». В результате следует ожидать продолжения снижения ЧЧИМ (см. рис. 2.19) как показателя уровня структурной устойчивости электроэнергетики и новых обоснований роста стоимости электроэнергии.

Аргументом обоснования новых инвестиционных программ генерирующих компаний является необходимость удовлетворения спроса на электроэнергию в период прохождения максимума нагрузки. Рост сезонного пикового электропотребления, происходящего в результате выбора модели экономического развития, в которой потребитель слабо заинтересован корректировать график спроса на основе зонных тарифов требует строительства новой генерации. Дополнительным стимулирующим рост объема инвестиционных программ фактором является заложенная в модель развития отрасли гарантированность возврата инвестиций в новое строительство с учетом определенной нормы доходности капитала, в частности – механизм договоров предоставления мощности (ДПМ). В итоге избыточный ввод новых энергетических мощностей привел к тому, что объем неотобранной мощности в 2015 г. составил 15 979 МВт (134 единицы генерирующего оборудования). При этом ожидалось, что рост платежа по ДПМ в 2016 г. относительно 2014 г. составит ~30% [225].

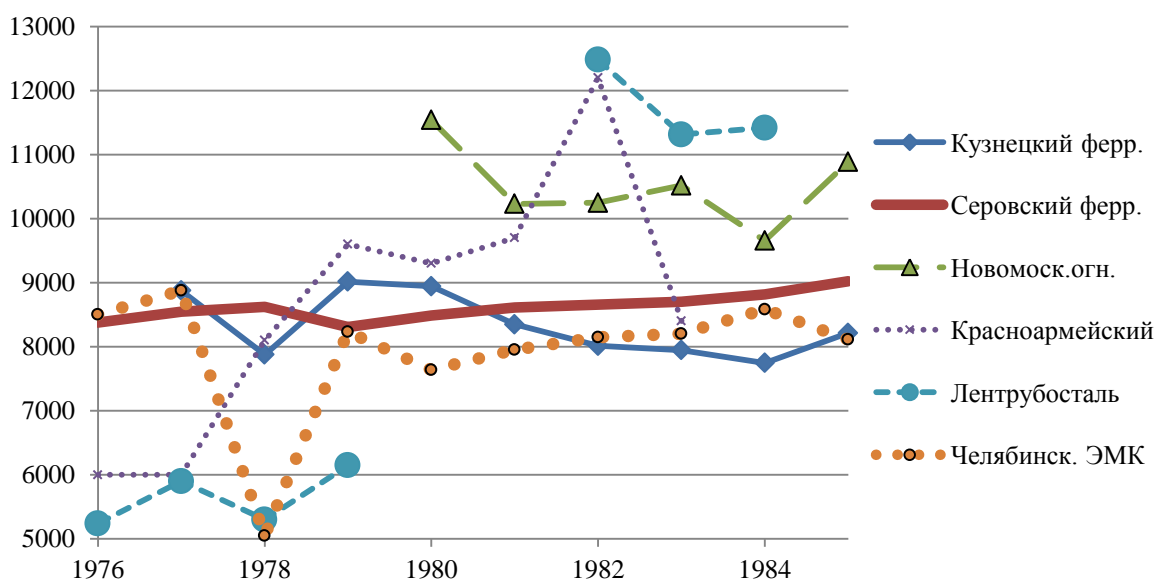
Анализ истории становления отечественной энергетики показывает, что альтернативный сценарий по сути является продолжением долгосрочного тренда роста эффективности использования генерирующих мощностей. Более того, существуют объективные предпосылки для его продолжения после падения промышленного производства в 1990-х гг.

Таблица 3.2

**Число часов использования заявленной мощности (час/год)  
некоторыми предприятиями черной металлургии в 1976–1985 гг.  
(на основе данных Информационного банка «Черметэлектро» [23])**

Предприятие	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Новомоск. огн., ОАО «Ново-московскогнеупор»	н/д	н/д	н/д	н/д	11 540	10 230	10 248	10 518	9657	10 887
Красноармейский, Певекский горно-обогатительный комбинат	6000	6000	8100	9600	9300	9700	12 200	8400	н/д	н/д
Кузнецкий ферр., ОАО «Кузнецкие ферросплавы»	н/д	8876	7876	9016	8943	8349	8014	7945	7745	8213
Лентрубосталь, Трубный завод «Лентрубосталь»	5240	5900	5300	6146	н/д	н/д	12 479	11 313	11 419	н/д
Серовский ферр., ОАО «Серовский завод ферросплавов»	8378	8549	8624	8305	8487	8612	н/д	8704	8816	9024
Челябинск. ЭМК ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»	8500	8875	5048	8233	7637	7952	8145	8203	8581	8110

В отечественной науке теоретические и практические основы управления нагрузками потребителей в отечественной энергетике были заложены еще в 1930-е гг. проф. С.А. Кукель-Краевским, а позднее – проф. И.М. Марковичем и проф. И.А. Сыромятниковым [387]. Последующее развитие данного направления обеспечило загрузку заявленной мощности ряда промышленных потребителей более 8760 час/год (табл. 3.2, рис. 3.3). Для энергосистемы определяющей выступала не суммарная установленная мощность совокупности электроприемников потребителя, а заявленная мощность – фактическое потребление в период прохождения максимума нагрузки. Например, на трубном заводе «Лентрубсталь» в 1985 г. суммарная мощность электроприемников составляла 33 МВт. Однако за счет координации функционирования энергосистемы и технологических процессов потребителя во время максимума нагрузки потребление электроэнергии не превышало 3,3 МВт. В результате увеличения потребления во время дневного и ночного провалов нагрузки более 3,3 МВт время использования заявленной мощности ( $T$  в табл. 3.3) было более 8760 часов.



**Рис. 3.3. Динамика использования заявленной мощности предприятиями черной металлургии в 1976–1985 гг.**

*(на основе данных Информационного банка «Черметэлектро» [23])*

В Министерстве черной металлургии СССР был разработан набор организационно-технических механизмов координации характера потребления электроэнергии в интересах энергосистемы, позволяющих при неизменной (или даже увеличивающейся) установленной мощности электроприемников целенаправленно снижать электропотребление в период прохождения максимума нагрузки (при этом суммарная мощность совокупности электроприемников могла увеличиваться). В итоге время использования заявленной мощности ряда крупных предприятий отрасли превышало 8760 час/год. И они выполняли функцию потребителей-регуляторов задолго до развития современных возможностей цифровых технологий.

В 1970-х гг. в значительной части это направление получило развитие благодаря планомерной работе Льва Леонидовича Гейзеля на Западно-сибирском металлургическом комбинате и Бориса Ивановича Кудрина в Сибирском Гипромезе («Государственный институт по проектированию металлургических заводов», Новокузнецк) в содружестве с Украинским Гипромезом («Украинский институт по проектированию металлургических заводов», Днепропетровск). Ее результаты можно видеть, анализируя данные информационного банка данных «Черметэлектро», который Б.И. Кудрин начал создавать с середины 1960-х гг. С середины 1970-х работа была поддержана Минчерметом СССР [23].

Таким образом, реализация организационно-технических механизмов, направленных на снижения потребления в период прохождения максимума нагрузки (табл. 3.1, 3.2) металлургические предприятия принимали на себя функцию менеджеров-регуляторов энергосистемы и обеспечивали фактическое использование заявлен-



ной мощности более 8760 час/год (до 12 400 час/год), а в некоторых случаях – свыше 17 000 час/год. Например, в 1980 г. Ново-криворожский ГОК при заявленной мощности 95 МВт обеспечивал ее использование 17 450 час [23].

Таблица 3.3

**Показатели некоторых предприятий черной металлургии в 1985 г.**

Предприятие	Заявленная мощность, МВт	Установленная мощность, МВт	T, час
Новомоск. огн., ОАО «Новомосковскогнупор»	1,9	14,6	10 887
Красноармейский*, Певекский горно-обогатительный комбинат	2,6	11,8	8400
Кузнецкий ферр., ОАО «Кузнецкие ферросплавы»	270	325,3	8213
Лентрубосталь**, Трубный завод «Лентрубосталь»	3,3	33,0	11 419
Серовский ферр., ОАО «Серовский завод ферросплавов»	166	197,6	9024
Челябинск. ЭМК ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»	455	650,0	8110

\* По состоянию на 1983 г.; \*\* 1984 г.

В первую очередь для регулирования графика загрузки выделялись энергоемкие технологические процессы и использовались возможности переноса времени их выполнения на периоды, не совпадающие с прохождением максимума потребления в энергосистеме. Помимо этого, на отечественных предприятиях черной металлургии в регулировании были задействованы не только вспомогательные, но и основные технологические процессы, например, допускались разгрузки индукционных печей в течение 60 минут. Малое время сброса/нагрузки индукционной печи позволяет рассматривать такого рода потребителей как участников рынка вторичного и первичного регулирования баланса активной мощности в энергосистеме. В перспективе с развитием информационных систем и новых потребителей, позволяющих сократить время реакции на команду энергосистемы по сбросу/набросу нагрузки, например, систем зарядки электромобилей, возможно расширение видов потребителей в части регулирования баланса активной мощности в энергосистеме. Возможность решения этой задачи целесообразно предусматривать на этапе их проектирования. Особенно это имеет отношение к новым промышленным потребителям. Но этот вопрос организации производства в России не нашел отражения в [229, 318].

Следует сказать, что еще 20–30 лет назад технологические предпосылки для интеграции интересов производителей и потребителей были весьма ограниченными. В последние десятилетия впечатляющие успехи информационно-управляющих технологий, силовой электроники, интернета вещей позволили по-новому подойти к этой проблеме. Новые технологии не только радикально повышают надёжность и качество работы единой сети, взаимодействие региональных сетей, резервирование, но и позволяют распространить информационные, контролируемые, регулирующие и оптими-

зирующие операции на все уровни энергетики, включая оперативное технологическое взаимодействие производителей и потребителей энергии любого ранга.

Таким образом, первичными являются базовые методологические принципы, положенные в основание производственных отношений участников технологического процесса энергоснабжения, оформленные в виде концепции, в рамках которой происходит взаимодействие потребителей и производителей электроэнергии. А технологические возможности, его обеспечивающие впоследствии либо встраиваются в производственные цепочки, либо отторгаются. Появление новых технологий снижает транзакционные издержки, открывает новые возможности развития, но принятие или отторжение их отраслью определяется концептуальными принципами, заложенными в ее развитие. Благодаря новым технологиям появилась возможность управлять режимами электропотребления не только единичных наиболее энергоемких объектов, а любыми самыми незначительными электроприборами.

Задолго до появления представления об интеллектуальных сетях, интернете вещей и т.д. первым этапом являлась корректировка технологических процессов, согласованное изменение графика рабочего времени, перенос времени обеденных перерывов и т.д. Вторым – реализация проектных решений, обеспечивающих разгрузку действующего электроемкого оборудования на один-два часа в сутки. Это динамические вставки для ингрессии потребителя и производителя. Третьим – разработка и установка нового оборудования, позволяющего увеличивать период снижения электропотребления без ущерба для основного технологического процесса. Если первый этап реализовывался достаточно быстро, то второй и особенно третий – формирование статических вставок, требовали длительного периода. Поэтому рост времени использования заявленной мощности предприятиями черной металлургии в 1976–1985 гг. имеет не скачкообразный, а плавный характер на протяжении нескольких лет.

Разработка стратегического видения развития энергетики индустриально развитых стран исходила из базовой задачи осуществления прорыва в энергетике посредством интеграции технологий XXI в., чтобы достичь плавного перехода на новые технологии в генерации, передаче и потреблении электрической энергии, которые обеспечат выгоды для государства и общества в целом [140]. Вначале развиваемые на основе информационных технологий новые возможности функций самодиагностики, анализа и отчета с задачей повышения надёжности работы оборудования, контроля его на расстоянии выделились в направление smart grid. По мере развития smart сети, позволив решить технологическую проблему распределения и выдачи мощности источниками, плохо поддающимися регулированию, стали формироваться информационные потоки, которые определяли действия участников рынка электроэнергии в реальном режиме времени и минимизировали издержки энергоснабжения. Характерной особенностью smart сети стало развитие данного направления на основе региональных рас-

пределительных сетей, обеспечивающих энергоснабжение множества мелких потребителей (часть из которых периодически становилась производителями энергии). Начальной точкой разработки концепции smart сети стало формирование четкого стратегического видения целей и задач развития электроэнергетики, отвечающей будущим требованиям общества и всех заинтересованных сторон: государства, науки, экономики, бизнеса, потребителей и других институтов [136].

Интеллектуальным сетям присущи следующие свойства, особенно необходимые для повышения качества и надёжности энергоснабжения в условиях Российской Федерации:

- повышенная динамическая устойчивость и способность к самовосстановлению после технологических сбоев;
- возможность активного участия в работе сетей потребителей энергии;
- обеспечение требуемого качества электроэнергии;
- обеспечение синхронной работы большого числа источников генерации и узлов хранения электроэнергии;
- устойчивость сетей к физическому и кибернетическому вмешательству;
- стимулирование появления новых высоких технологий генерации и потребления электроэнергии;
- повышение технико-экономической эффективности работы системы «генерация – потребитель» в целом.

Основные положения, отмеченные выше, полностью могут и должны быть распространены на систему производства, передачи и потребления не только электрической, но тепловой энергии и на взаимодействующие системы совместной выработки электричества и тепла, электро- и теплоснабжения, что очень важно для России и в силу известных исторических причин нетипично для Запада. Действительно, ряд позиций (например, 2, 6, 7, частично и другие) не укладывается в ДК.

На Западе развитие интеллектуальных сетей происходило в результате объединения микро smart grid (микросетей). По определению Европейской комиссии микросеть – это совокупность небольших электрических распределительных систем, которые соединяют несколько потребителей с несколькими распределёнными источниками электроэнергии. Микросети могут обеспечивать электроснабжение небольших районов, обеспечивая электроэнергией потребителей на низком уровне напряжения [496]. Но в отличие от сформировавшегося понимания интеллектуальных сетей как модернизированных сетей электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии [592], для России в силу климатических особенностей является важным комплексный

подход к электро- и теплоснабжению [597, 598]. Поэтому далее в работе основное внимание уделено формированию микросетей, понимаемых как участки электросетевой инфраструктуры, в пределах зоны действия понизительной подстанции, включающие в себя на основе smart технологий потребителей ТЭР, участки систем теплоснабжения и систем аккумулирования тепловой и электрической энергии. Последующее объединение микросетей, построенных на единых принципах, в связанную систему является путем формирования национальной интеллектуальной сети.

С учетом технологий smart grid и интернета вещей возникает возможность решения задачи вовлечения потребителя в оптимизацию работы энергосистемы на новом качественном уровне. За счет потребителя, но не в ущерб ему, в результате трансформации его технологических процессов можно достичь более значимых результатов в задаче выравнивания графика потребления, чем это было сделано в условиях плановой экономики. Развитие smart сетей позволяет включать значительную часть нагрузки во временном интервале, заранее заданном потребителем, но в период, наиболее удовлетворяющий технологическим возможностям производителя. В будущем расширятся возможности формирования требуемого графика потребления в связи с развитием автоматизации, роботизации, дистанционных методов управления, интернета вещей. Следует заметить, что эти направления практически не находят развития в Российской Федерации [481].

Первоочередной задачей развития smart сети в Российской Федерации является *рост эффективности использования действующих традиционных мощностей как основы энергосистемы – ее эксгрессивного центра за счет трансформации технологических процессов потребителей электроэнергии*. При скоординированной и продуманной системе управления синергический эффект заключается в том, что для выработки заданного количества электроэнергии требуется меньшая установленная мощность энергосистемы, что находит свое выражение в равномерном и «плотном» графике потребления электроэнергии (что соответствует высокому ЧЧИМ) со слабо выраженными ночными провалами и пиками в период прохождения максимума нагрузок. Справедливо и обратное утверждение, что при отсутствии государственной энергетической политики в данном вопросе, для производства идентичного объема электроэнергии потребуются не просто большая мощность энергосистемы (низкие значения ЧЧИМ), а реализация решений, повышающих издержки всей системы – увеличение мощностей пиковой генерации и систем аккумулирования энергии, что и происходит в настоящее время.

Организационно-экономическим механизмом установлением новых связей между производителями, сетевыми организациями и потребителями энергии является управление потреблением на основе динамической вставки – плавающей цены электроэнергии [593, 594, 595]. Его суть заключается в перманентном изменении цены

электроэнергии в каждой микросети в зависимости от издержек её производства в энергосистеме и передачи к этой микросети. Сетевая составляющая передачи электроэнергии в каждую микросеть от энергосистемы не является фиксированной величиной, а изменяется во времени и определяется загруженностью задействованных участков сетевой инфраструктуры. При высокой цене электроэнергии в микросети существует два способа уменьшить издержки: снизить потребление и при наличии распределённой генерации начать производить электроэнергию.

Высокая цена электроэнергии определяет изменение поведения потребителей, стимулируя снижение потребления. Технологически это достигается уменьшением потребления электроэнергии выбранными потребителем электроприемниками в периоды прохождения часов максимума нагрузок.

Потребитель распределяет все электроприемники по нескольким группам и для каждой группы задает максимально возможный коэффициент отклонения цены электроэнергии от среднесуточного для включения/отключения. Выделение в электрохозяйстве бытового потребления электрических бойлеров, стиральных машин, систем климат – контроля систем зарядки аккумуляторов электроэнергии (в том числе электромобилей) в отдельную группу и установка для нее коэффициента меньше единицы позволит включать эти электроприборы в периоды низкой цены на электроэнергию – прохождения минимума потребления и выключать, когда цена на электроэнергию понимается выше среднесуточного уровня, умноженная на заданный потребителем коэффициент. Но, для электроприборов, обеспечивающих безопасность работы различных систем, завершения работы вычислительной техники, работу медтехники выделяются в приоритетную группу, для которой устанавливаются высокие коэффициенты отключения (больше сотни). Промежуточные значения устанавливаются для двух-трех групп, объединяющих все остальные электроприборы.

Для обеспечения технической возможности управления электроприемниками в зависимости от цены на электроэнергию требуется установка приборов учета, которые не только передают данные об электропотреблении, но и способны отключать/включать выбранные потребителем электроприемников. Их цена в среднем по состоянию на 2019 г. на 50% выше по сравнению интеллектуальными приборами учета электроэнергии без возможности управления работой электроприемников [599]. Учитывая, что отличие в ценах на приборы с функциями управления электропотреблением по сравнению с аналогами, обладающими только функцией учета электроэнергии, определяется стоимостью электроники, то в перспективе различие будет сокращаться пропорционально снижению цен на электронные составляющие.

У потребителя есть возможность не только перевода любого электроприемника из одной группы в другую по своему усмотрению, но и составления алгоритма по которому электроприемник изменит свою принадлежность к группе. Например, элек-

тромобиль по мере приближения времени поездки автоматически переходят в группу с более высоким коэффициентом отношения цены к среднему значению, при котором начинается его зарядка.

Изменение цены электроэнергии во времени для каждой точки энергосистемы в зависимости от ее загруженности стимулирует потребителей к переносу потребления части электроприемников на периоды низкой цены электроэнергии. Это будет касаться широкого класса нагрузок: от графика работы кислородной станции (необходимый суточный объем потребления кислорода может быть наработан в периоды низкой цены на электроэнергию) у крупных промышленных потребителей, графика работы насосов первой ступени водоканалов у муниципальных потребителей, до управления временем запуска стиральной машины в домохозяйствах.

Микросети на основе плавающей цены электроэнергии эффективнее регулируют потребление электроэнергии, чем потребитель, принимающий решение о выборе режимов работы электроприемников на основании зонных тарифов. В перспективе произойдет переход от фиксирования нескольких ступеней стоимости электроэнергии и установки многозонных приборов учета к управлению режимами потребления на основе меняющейся во времени цены электроэнергии. Ключевым фактором станет не столько учет электроэнергии, сколько возможность управления электропотреблением исходя из потребностей в снижении издержек энергосистемы в соответствии с технологическими особенностями генерации. В наибольшей степени это относится к возможности согласования потребления с генерацией возобновляемых источников энергии, рост которых и инициировал бурное развитие smart технологий (подробнее в Приложении 4).

По мере развития интернета вещей [482, 483] для координации характера потребления с возможностями генерации и загруженностью линий электропередач целесообразно введение не скалярного, каковым является цена электроэнергии, а векторного управляющего сигнала. Векторный управляющий сигнал будет содержать не только мгновенную информацию об издержках генерации и передачи электроэнергии сетевой инфраструктурой, но и прогнозные значения для каждого генератора об изменении издержек производства электроэнергии.

При наличии распределённой энергетики в микросети превышение цены электроэнергии определенного значения будет управляющим сигналом для начала её работы. По мере дальнейшего повышения цены целесообразно предусмотреть возможность перехода систем аккумулирования в режим выдачи мощности. Развитие данного механизма – путь обеспечения работоспособности групп нагрузок, для которых потребитель задал высокие коэффициенты отключения в отличие от вынужденных отключений всех электроприборов при аварии в энергосистеме.

Параметром регулирования является усредненная за год цена электроэнергии в микросети. Со стороны регулятора сохраняется контроль за ее среднегодовым значением. По результатам года отбираются микросети с наиболее высокой среднегодовой ценой электроэнергии в регионе, и в них реализуются проекты по снижению стоимости энергоснабжения. Так как причина высокой цены электроэнергии в микросети – это высокий спрос, то решением является увеличение предложения. В результате в микросетях с более высокой ценой электроэнергии будет развиваться распределённая энергетика. Распределенная энергетика будет производить электроэнергию в периоды, когда стоимость её генерации ниже цен на электроэнергию в энергосистеме с учетом передачи в данную микросеть. Таким образом, плавающая цена электроэнергии являясь обратной связью, направленной на снижение издержек энергоснабжения, приводит к росту структурной устойчивости энергосистемы. В итоге постепенно будет происходить снижение потребления из сети в периоды максимального спроса и перенос пиковой генерации на распределённую энергетiku.

По данным США, можно ожидать, что величина синергического эффекта от выравнивания графика нагрузки составляет от 5 до 15% затрат на электроснабжение. Столько потребители электроэнергии в итоге могут сэкономить. В свою очередь сетевые организации могут ожидать более низких пиков нагрузок из-за изменения поведения потребителей [150]. Экспертные оценки показывают, что снижение пика нагрузки энергосистем США на 5% вследствие применения интеллектуальных энергетических сетей и их регулирования позволит сэкономить до 66 млрд долл. инвестиций в течение ближайших 20 лет, а установка «умных» технологий управления спросом на энергию в жилищном секторе страны может обеспечить дополнительно экономию на инвестициях компаний до 325 млрд долл. в течение этого периода (снижение пика нагрузки до 25%) [324].

Применительно к России можно сделать оценку двумя способами.

Так как после 1990 г. произошло снижение ЧЧИМ более чем на 20%, рост этого показателя на 25% вполне достижимый результат. На основе значения для США, указанного авторами из Национального университета Высшая школа экономики и Института комплексных исследований в энергетике [324]: с учетом в 3,6 меньшего объема производства электроэнергии в России – это 4,5 млрд долл. в год – снижение потребности в капитальных вложениях. С учетом потерь, обусловленных специфически отраслевыми технологическими потерями, общее сокращение расходов на электроснабжение может быть оценено в 7,1 млрд долл., или 12–13% от суммарных платежей за электроэнергию.

Более высокое значение получается из расчета на основе коэффициента эластичности цены на электроэнергию по ЧЧИМ. Предположив, что снижение ЧЧИМ на 1% опосредованно приводит к росту цены на электроэнергию на 1,4% – получаем, что

в России нереализованный потенциал снижения стоимости электроэнергии ~35%. Для территории Зауралья с хорошей обеспеченностью топливными ресурсами и более низкой долей топливной составляющей в структуре цены электроэнергии, коэффициент эластичности цены на электроэнергию по ЧЧИМ по абсолютной величине выше и соответственно нереализованный потенциал не менее 45%.

Полученное расхождение двух разных подходов может быть объяснено спецификой структуры цены электроэнергии в Российской Федерации. Как показано в [171] доля, приходящаяся на генерацию в ряде субъектов, не превышает 30%, а в среднем по стране находится на уровне 40%, в отличие от развитых стран, в частности, США, где это значение выше 60%.

С учетом этого факта в дальнейшем изложении будем исходить из более сдержанной оценки: снижение стоимости электроэнергии в результате повышения эффективности использования существующих энергетических мощностей в совокупности с предложенными механизмами реализации АК позволит снизить цены на электроэнергию у потребителя на 15–17%.

Интеллектуальные технологии в настоящее время являются весьма дорогими, однако «отказ от их внедрения оказывается еще дороже» (утверждают эксперты ряда исследовательских центров США, что подтверждается и опытом внедрения интеллектуальных информационных систем в итальянской компании ENEL, срок окупаемости которых не превышает и 5 лет). В целом внедрение интеллектуальных энергетических систем оказывается весьма эффективным вследствие целого ряда новых условий, в частности мотивации и стимулирования активного поведения субъектов энергетического рынка посредством выгодных ценовых предложений на поставку электроэнергии и мощности в специфических условиях работы энергетических компаний [324].

То есть следует проводить сопоставление эффективности «с проектом» и «без проекта». Суть этого принципа в следующем. При реализации проекта его участники осуществляют определенные затраты и получают определенные результаты. Однако, если бы проект был отклонен, то участники все равно продолжали бы как-то функционировать и также осуществляли бы определенные затраты (строительство новых генерирующих источников и расширение сетей, проведение мероприятий по снижению потерь в сетях и т.д.), получая результаты. Поэтому оценка эффективности проекта осуществляется путем сопоставления ситуации «с проектом» и «без проекта». Это означает, что под результатами проекта надо понимать не те затраты, которые будут осуществлены по проекту, и не те результаты, которые при этом будут получены, а только ту приростную (обусловленную реализацией проекта) часть этих затрат и результатов. Поэтому нельзя судить об эффективности проекта, сопоставляя показатели, достигнутые до начала реализации проекта, с теми, которые будут достигнуты после его реализации [224].



В результате перехода к плавающей цене электроэнергии будут созданы условия для развития возобновляемых источников в российских условиях. Для наглядности далее рассмотрены возможности оптимизации работы энергосистемы на основе плавающей цены электроэнергии на примере двух ситуаций для случая ветрогенерации:

- происходит увеличение силы ветра в полупиковый период;
- возникает непредвиденное снижение выработки ВЭС в ночное время.

При заранее фиксированной стоимости электроэнергии в первом случае требуются снижение нагрузки части генерирующих мощностей, их вывод из оптимального режима. Во втором случае необходим запуск пиковых мощностей в ночное время. Если же производство и потребление объединены smart сетью с плавающей ценой электроэнергии, ситуация выглядит для генерирующей компании совершенно по-другому. В первом случае будет стимулировано потребление, например, включение подзарядки электромобилей, запуск насосов первого подъема водоканалов и т.п. Соответственно в период резкого спада ветровой нагрузки в ночной период кратковременный рост стоимости электроэнергии приведет к снижению потребления подобных потребителей (как правило, обеспечивающих загрузку генерирующей компании в период ночного провала) и исключению необходимости запуска регулирующих мощностей в нерасчетное ночное время.

Несмотря на плохую предсказуемость порывов ветра и освещенности солнечных панелей при переменной облачности на среднесуточном интервале ошибка в прогнозировании выработки электроэнергии ВЭС и СЭС для обширных территорий в результате усреднения не превышает 1–2%. Поэтому с учетом среднесуточного прогноза можно принять решение, снижающее издержки от краткосрочной непредсказуемости погодных условий. В приведенном примере при ожидаемом длительном провале генерации ВЭС необходим запуск регулирующих мощностей. В случае краткосрочного уменьшения выработки ВЭС можно обеспечить регулирование системы за счет корректировки графика потребления на основе краткосрочного изменения цены электроэнергии. В итоге плавающая цена электроэнергии позволит снизить производственные издержки, в значительной степени обеспечит задачу регулирования работы энергосистемы в результате управления спросом, и в выигрыше остается не только производитель, но и потребитель энергии. Подобные возможности smart сети объясняют причину столь стремительного развития этого направления в энергетике зарубежных стран.

Возможность влияния на характер потребления в результате введения плавающей цены электроэнергии станет основой для решения целого комплекса задач, например, проблемы электроснабжения потребителей, возникающих при воздействии геоиндуцированных токов при геомагнитных бурях [417]. В частности, регулирование загрузки трансформаторов можно осуществлять путем увеличения стоимости электроэнергии для потребителей, запитанных от трансформатора, загрузка которого превы-

сила номинальное значение в результате любой внеплановой причины, в частности, от геоиндуцированных токов. По мере снижения внеплановой загрузки трансформатора (прекращения геомагнитной бури), снижение цены электроэнергии до исходного значения определит возвращение потребления к исходному значению. При этом глубина снижения нагрузки потребителей должна задаваться микросетью в зависимости от степени перегрузки трансформатора в результате геомагнитной бури.

Иллюстрацией возможности рационализации поведения потребителя в результате включения части его нагрузок на основе плавающей цены электроэнергии является такой пример. Более 20% бытового потребления составляет потребление бытовых холодильников. В абсолютных величинах потребление может изменяться кратно: Liebherr CNP 4358 (объём 321 литр) 133 кВт·ч/год или бюджетных Pozis RK-103 W (объём 340 литров) 240 кВт·ч/год и Бирюса 22 (объём 255 литров) 548 кВт·ч/год или Саратов 105 (объём 335 литров) 547 кВт·ч/год; и более энергозатратных, работающих десятилетиями, в значительной степени выработавших ресурс с изношенной, плохо прилегающей теплоизоляцией.

Высокие теплоизоляционные параметры и значительная теплоемкость холодильной камеры и хранящихся продуктов позволяют включать компрессор холодильника, не снабженного инверторной схемой, с интервалом в несколько часов. В связи с этим технологически возможно организовать управление режимом работы компрессора smart сетью с минимизацией потребления в период пиковых нагрузок. По мере повышения температуры в холодильной камере процессор холодильника увеличивает пороговый коэффициент на включение. За потребителем остается выбор установки допустимого интервала температур для хранения продуктов. Например, при выборе колебаний в 1°C можно обеспечить нулевое потребление в период прохождения утреннего и вечернего пиков спроса на электроэнергию, при выборе колебаний 0,1°C включение компрессора будет необходимо каждые 40 мин. То есть в зависимости от того, какой коэффициент отклонения от средней цены потребитель установит для включения работы холодильного компрессора для начала его работы будет зависеть, в какой мере этот электроприбор будет принимать участие в регулировании графика потребления. В любом случае задачей smart сети будет являться аккумуляция холода перед началом пикового интервала, и снижение потребления во время его прохождения. При этом потребитель самостоятельно не способен решить данную задачу вне зависимости от оснащения его самыми современными многозонными приборами учета потребления электроэнергии. Вместе с тем в рамках построения smart сети регулирование потребления является технически реализуемым при современном уровне развития технологий. То есть для повышения эффективности энергоснабжения в ситуации, непосредственно ежедневно относящейся к любому бытовому потребителю, для обеспечения согласованности взаимодействия его действий с потребностями энергосисте-

мы требуется дополнение организационно-экономических механизмов организационно-техническими. Причем набор этих организационно-технических механизмов фактически обладает свойствами ценоза, а именно:

- в каждый момент времени их список не является исчерпывающим (происходит его расширение по мере технологического развития и отказ от ранее апробированных решений по мере их устаревания);
- разные технологические решения имеют разную значимость для повышения эффективности энергоснабжения. Есть наиболее емкие позиции (распределённая когенерация – комбинированное производство тепловой и электрической энергии на источниках, подключённых к электросетям преимущественно на стороне потребителя), а есть относящиеся к определенным специфическим условиям (например, алюмоводородная энергетика). Причем результативность любого решения изменяется в зависимости от стоимости первичных энергоресурсов, соотношения цен между ними; может целенаправленно изменяться, например, путем введения квот на выбросы парниковых газов и т.п.

Эквивалентный результат может быть получен на основе использования организационно-технических механизмов, кратно различающихся по стоимости. Иллюстрацией является применение двух подходов к обеспечению необходимого качества энергоснабжения в таких условиях в определенной степени эквивалентных внешних воздействий, как порывистые изменения генерации ветроустановок и эксплуатация электроприёмников, работа которых сопровождается резкопеременными толчками нагрузки (вентильные преобразователи, дуговые электропечи, электросварочные аппараты, электровозы). Первый подход – включение в энергосистему компенсирующих устройств. Для компенсации быстропеременных процессов в наибольшей степени подходят системы аккумулирования, включающие в себя суперконденсаторы. Их применение обеспечивает динамическую устойчивость электрической сети при сбросе/набросе нагрузки; регулирование параметров электрической сети (частота); улучшение параметров напряжения электрической сети (компенсация реактивной составляющей); диспетчеризацию мощности – выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды избыточной электроэнергии и выдача в сеть в периоды дефицита); сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи, повышение вследствие этого пропускной способности линий электропередачи [589].

Альтернативный подход решения этой задачи – использование возможностей инверторных компрессоров бытовых холодильников, которые при частичной нагрузке имеют возможность в пределах 100–200 Вт демпфировать провалы или всплески активной мощности в электросети, что при согласованном управлении в рамках микросети эквивалентно выполнению вышеперечисленных функций. Цена бытового холо-

дильника с инверторным компрессором выше, чем с обычным в пределах 10 000 р. Сегодня тысячи потребителей, добровольно оплачивая эту разницу, получают более удобный в эксплуатации электроприбор с высокими потребительскими свойствами: с более длительным временем сохранения холода (от 18 часов), с лучшим дизайном, продуманностью и функциональностью внутреннего объема и т.п. Удельная стоимость функции выравнивания профиля активной мощности на временных интервалах от долей секунды (время реакции инверторного компрессора бытового холодильника на управляющий сигнал) до 18 часов и более составляет ~ 35–100 р./Вт. Приняв в качестве нижней оценки количества бытовых холодильников значение 50 млн ед., суммарная мощность такой равномерно распределенной системы регулирования при единичной мощности компрессора более 200 Вт составит не менее 10 ГВт. Удельные издержки модернизации распределительных сетей для выравнивания графика спроса за счет подобных электроприборов многократно ниже создания альтернативных систем аккумуляции энергии. Для этого вовсе не требуется объединения юридических лиц, изменения прав собственности и т.п. Ингрессия достигается путем формирования новых динамических связей, потенциал этого технического решения превышает мощность ныне функционирующих систем аккумуляции электроэнергии и тех, которые могут быть созданы в России как минимум в ближайшие 7–12 лет. Дополнение действующей энергосистемы совокупностью постоянно функционирующих электроприемников в той части энергосистемы, где и возникает наиболее неравномерный спрос на электроэнергию – в коммунально-бытовом секторе и, соответственно, объективно существует необходимость в регулирующих мощностях, будет профинансировано за счет потребителей. Модернизация сетей для управления работой электроприемников-регуляторов в точности соответствует задаче создания микро smart сетей, необходимой для снижения потерь в распределительных сетях. Именно по этому пути развивается электросетевой комплекс в развитых стран. Вначале технологии smart grid получили развитие в сетях низкого напряжения, а впоследствии в сетях высокого напряжения, в отличие от России, где вопросы развития smart grid технологий в распределительных сетях, а не в ЛЭП высокого напряжения находятся на второстепенном плане. Область применения данного организационно-технического механизма сглаживания кривой спроса на электроэнергию – диспетчеризация суточной неравномерности графика нагрузки.

Как самостоятельное решение – изменение режимов работы электроприемников потребителей не может заменить системы аккумуляции, задача которых обеспечить бесперебойность энергоснабжения при авариях в энергосистеме. Но регулирование спроса на электроэнергию за счет изменения технологических процессов у потребителя и распределенная когенерация совместно с аккумуляцией тепловой энергии являются взаимодополняющими технологиями, совместное применение кото-

рых эквивалентно установке систем аккумулирования электроэнергии. Их совместное применение – пример синергии и путь, сфокусированный в перспективе на снижение издержек интеграции ВИЭ в энергосистему, а в настоящее время – на уменьшение стоимости энергоснабжения за счет перехода к функционированию традиционной энергетики в оптимальных режимах, сокращению спроса на системы аккумулирования и пиковые источники.

Аналогичные примеры можно привести в любой области для большей части электроприемников, которые в ближайшей перспективе будут объединены в рамках развития нового направления – интернета вещей.

Целью интеграции производителей, сетевой инфраструктуры и потребителей электроэнергии станет повышение загрузки генерирующих мощностей, что должно решаться с помощью потребителя, а он, определяя режимы использования приборов потребления, начиная от электробритвы и холодильника в быту и заканчивая прокатным станом и индукционной печью в промышленности, электровозом на транспорте, выбирает удобные для своих целей режимы потребления. При этом не только рядовой потребитель (домохозяйство), но высококвалифицированный главный энергетик промышленного предприятия не должен быть озадачен технологическими проблемами генерирующих компаний в каждый момент времени. Характер потребления для каждой группы электроприемников должен определяться векторным управляющим параметром, на первом этапе роль которого будет выполнять изменяющаяся во времени цена электроэнергии.

### ***3.4. Снижение издержек энергоснабжения в результате совместного развития электроснабжения и систем жизнеобеспечения***

Переход к новой системе, ингрессия потребителей и производителей электроэнергии предполагает изменение сопряженных с электрообеспечением технологических процессов. То есть по мере развития интеграции в цепочке «производство-потребление ТЭР» будут получать все большее распространение организационно-технические механизмы, направленные на комплексное использование энергетических ресурсов для развития систем жизнеобеспечения путем координации взаимодействия различных систем, связанных с потреблением электроэнергии. Следующие примеры иллюстрируют суть предлагаемого подхода и перспективы развития энергетики в этом направлении.

Как было отмечено выше, значительная часть бытового потребления электроэнергии приходится на бытовые холодильники. В стандартном домохозяйстве холодильник потребляет в год ~300 кВт·ч электроэнергии [418], что для 90% домохозяйств

составляет от 15 до 35% общего потребления. Но если подойти к данной задаче с другой точки зрения, понимая, что потребителю нужен не сам холодильник, а обеспечение сохранности продуктов при постоянной температуре, то напрашивается следующее решение. При строительстве жилья следует предусмотреть встроенные в наружные стены камеры для хранения продуктов, оснащенные промышленно изготавливаемыми системами охлаждения и обеспечивающие постоянство температуры. При расположении камер преимущественно на северной стороне здания для обеспечения в них постоянного температурного режима будет требоваться в среднем за год многократно меньше электроэнергии в сравнении с отдельно стоящим холодильником, обеспечивающим тот же объем и условия хранения. Более того в период прохождения осенне-зимнего максимума нагрузок потребность в электроэнергии будет близка к нулю и нужно будет подтапливать камеры для обеспечения в некоторых из них плюсовой температуры. Учитывая отечественные климатические особенности данное решение может принести значительно больший эффект по сравнению со странами с менее холодным климатом. В летний период поддержание температурного режима будет обеспечиваться традиционными решениями на основе компрессорной техники. То есть время наибольшего снижения потребления электроэнергии при выборе такого подхода будет в сезонном аспекте совпадать с прохождением осенне-зимнего максимума, когда спрос на нее максимален, а в суточном будет способствовать переносу наибольшего запаса холода на ночное время суток, когда температура наружного воздуха минимальна. В итоге затраты электроэнергии на получение единицы холода (фригории) будут ниже по сравнению с графиком работы в более теплое дневное время. Данный пример показывает, как к одной и той же проблеме можно подойти с разных точек зрения. Путем координации развития систем, связанных с потреблением электроэнергии, будет обеспечено достижение более значимого результата, чем при решении локальных фрагментарных задач.

Если перейти к рассмотрению энергетической системы в рамках АК не только с точки зрения выработки электроэнергии, а комплексно – с учетом возможностей выработки тепла, то можно предложить следующее решение. Не менее 10% от пикового потребления электроэнергии в период прохождения осенне–зимнего максимума формируется в результате подтапливания помещений электрическими рефлекторами. Так, если обеспечить требуемый температурный график теплоснабжения и решить проблему электроотопления, то в Москве можно сэкономить 2–2,5 ГВт пиковой мощности [261].

Решение этой проблемы в рамках ДК отсутствует на протяжении нескольких десятилетий. С другой стороны, рассмотрение теплового потребления как равновесной составной части электроснабжения потребителей позволяет предложить решение, позволяющее в отопительный период повысить температуру в помещении с затратами электроэнергии на два порядка меньшими, чем при подтапливании электрическими

рефлекторами. Так, дополнительные капитальные затраты для обеспечения возможности подключения рефлектора мощностью 2 кВт превышают 200 тыс. р. (в ценах 2014 г.), что включает в себя строительство генерации 2,2–2,3 кВт (с учетом потерь) и расширение пропускной способности сетей. Альтернативным доступным любому домохозяйству с центральной системой теплоснабжения является интенсификация теплосъема с отопительных приборов: направив на батарею центрального отопления воздушный поток, создаваемый вентилятором мощностью в 10–20 Вт, можно более чем в полтора раза увеличить съём тепловой энергии. Максимальная эффективность этого способа достигается во время прохождения минимальных температур наружного воздуха и, соответственно, наиболее высокой температуры в системе отопления, когда задача снижения электрических нагрузок имеет наибольшую актуальность. Предлагаемый способ приводит к снижению температуры обратной сетевой воды, что (кроме уменьшения удельного расхода электроэнергии на транспорт теплоты) ведет к увеличению производства электроэнергии в теплофикационном режиме в случае нахождения потребителя в зоне действия ТЭЦ. Для бытового потребителя стоимость двух вентиляторов с диаметром лопастей 15–20 см более чем в 100 раз ниже системных издержек, возникающих в результате наиболее распространённого и массово применяемого в настоящее время альтернативного решения на основе электрического обогрева в периоды прохождения минимальных температур наружного воздуха.

Приведенный пример разницы издержек различных технических решений на два порядка и более, при этом выполняющих эквивалентную функцию, является далеко не единичным. Можно провести сравнение двух альтернатив: утепление фасадов здания и локальное повышение теплоизоляционных свойств стены здания в местах, где существует максимальный перепад температур. Речь идет о точечном решении – в том месте, где перепад температур максимальный, а стены, как правило, имеют меньшую толщину за счет создания ниши под подоконниками для размещения приборов отопления – это теплоизоляции поверхности стены внутри помещения за приборами отопления: установка за ними отражательного экрана путем проклейки фольгированного пенофола толщиной 3–4 мм, отражающей стороной внутрь помещения.

Еще одним направлением замещения пикового потребления электроэнергии в период прохождения осенне–зимнего минимума температур является установка котлов каталитического горения мощностью в единицы кВт, стоимостью не более 3000 р./кВт установленной мощности (в ценах 2014 г.) в непосредственной близости от потребителя. Согласно исследованиям Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, при беспламенном горении на газовых каталитических котлах в уходящих газах отсутствуют  $\text{NO}_x$  и CO (содержание менее 10 ppm) [345], что кратно ниже в сравнении не только с открытым сжиганием газа на бытовых газовых плитах, которое также используется населением для подтапливания помещений, но и любых других технологий

сжигания газа. Высокие экологические показатели каталитических котлов позволяют использовать их даже в условиях городских квартир [346] для кратковременного подтапливания, в том числе вместо электрических рефлекторов. Несмотря на существующие возможности, развитие отечественной энергосистемы происходит без реализации потенциала рационализации поведения потребителя по пути обеспечения выработки электроэнергии, согласно графику, аналогично представленному на Рисунке 2.18.

Данный ряд, развивая предложения предыдущего раздела относительно холодильной техники, не является исчерпывающим. Любой творчески мыслящий человек сможет его дополнить. Причем в России количество таких людей и нестандартность поданных ими идей на всех уровнях очень высоки. Автор во время работы в рамках реализации программы газификации Тверской области в 2000-х гг., а именно территорий, прилегающих к озеру Селигер, исследовал состояние множества угольных котельных в этой местности. Особенно запомнилось посещение г. Андреаполь с населением около 7000 человек. Здания, подключенные к системам централизованного теплоснабжения, отапливались водогрейными угольными котельными установленной мощностью 1–3 Гкал/час. При этом в котельных *все* серийные угольные котлы были в той или иной степени модифицированы сотрудниками котельных и приспособлены для более эффективной работы с учетом местных особенностей водоподготовки, топливоснабжения, включая использование отходов деревопереработки, золоудаления и т.д.

Наибольший эффект на единицу вложенных ресурсов может быть получен при комплексном рассмотрении энергоснабжения с другими жизнеобеспечивающими системами, при рассмотрении энергетики как системы систем. Жизнеобеспечивающие системы, имеющие высокую социально-экономическую значимость, являются приоритетными объектами энергообеспечения [591]. Несмотря на то, что термин «жизнеобеспечивающие системы» встречается в значительном числе научных публикаций [502, 503, 505], его строгое определение отсутствует. Под жизнеобеспечивающими системами (ЖОС) будем понимать всю среду жизнедеятельности человека, обеспечивающую его безопасное и комфортное существование. Понятие ЖОС связано с понятием качества жизни, изучением которого занимается современная экономика.

Такое расширенное рассмотрение крайне важно и соответствует ДК: если в предыдущих вариантах целью Энергетической Стратегии являлось эффективное использование природных ТЭР для повышения жизнеобеспечения (растущего спроса на энергоносители со стороны экономики и населения и организации энергоснабжения сложившейся структуры энергопотребления), то в ЭС2-2035 и особенно в ЭС-2050 ставится более широкая задача – организация эффективной жизнедеятельности общества за счет инновационного (технологического и структурного) энергетического потенциала страны [554].



Энергетические ресурсы играют важнейшую роль для эффективного функционирования ЖОС и повышения качества жизни человека. Поскольку АК предполагает изменение роли и значимости потребителя ТЭР, а также расширение его функций, то, как правило, происходит соответствующая трансформация и ЖОС: появляются новые компоненты, меняются взаимосвязи между ними, происходят структурные изменения.

На рис. 3.4 представлена общая структура ЖОС. ЖОС являются развивающимися системами, в связи с чем, в их основе выделяются сектора с различным уровнем использования передовых технологий, в том числе и технологий будущего.

Венчурный сектор ЖОС предполагает развитие самоуправляемых систем, т.е. таких систем, которые могут регулировать свою деятельность самостоятельно, реагируя на изменение окружающей среды, благодаря соответствующим встроенным программам и интеллектуальным компонентам (блокам). Эти системы действуют либо при минимальном вмешательстве человека (предлагая ему выбор в некотором спектре наиболее важных решений), либо при полном отсутствии его участия в рассматриваемом процессе [504]. Сюда относятся все виды роботов, электромобили без водителя, беспилотные летательные аппараты и т.д., которые будут выполнять часть жизнеобеспечивающих функций человека, делая его жизнь комфортнее.

Инновационный спектр предполагает использование человеком в своей жизнедеятельности уже имеющихся современных ИТ-технологий. В частности – широкое привлечение интернета для получения необходимой информации, приобретения товаров, взаимодействия с органами управления, проведения платежных операций, осуществления инвестиционной деятельности. Реализация этих процессов требует соответствующего энергоснабжения, что предполагает создание систем резервирования на случай аварий в энергосистеме.

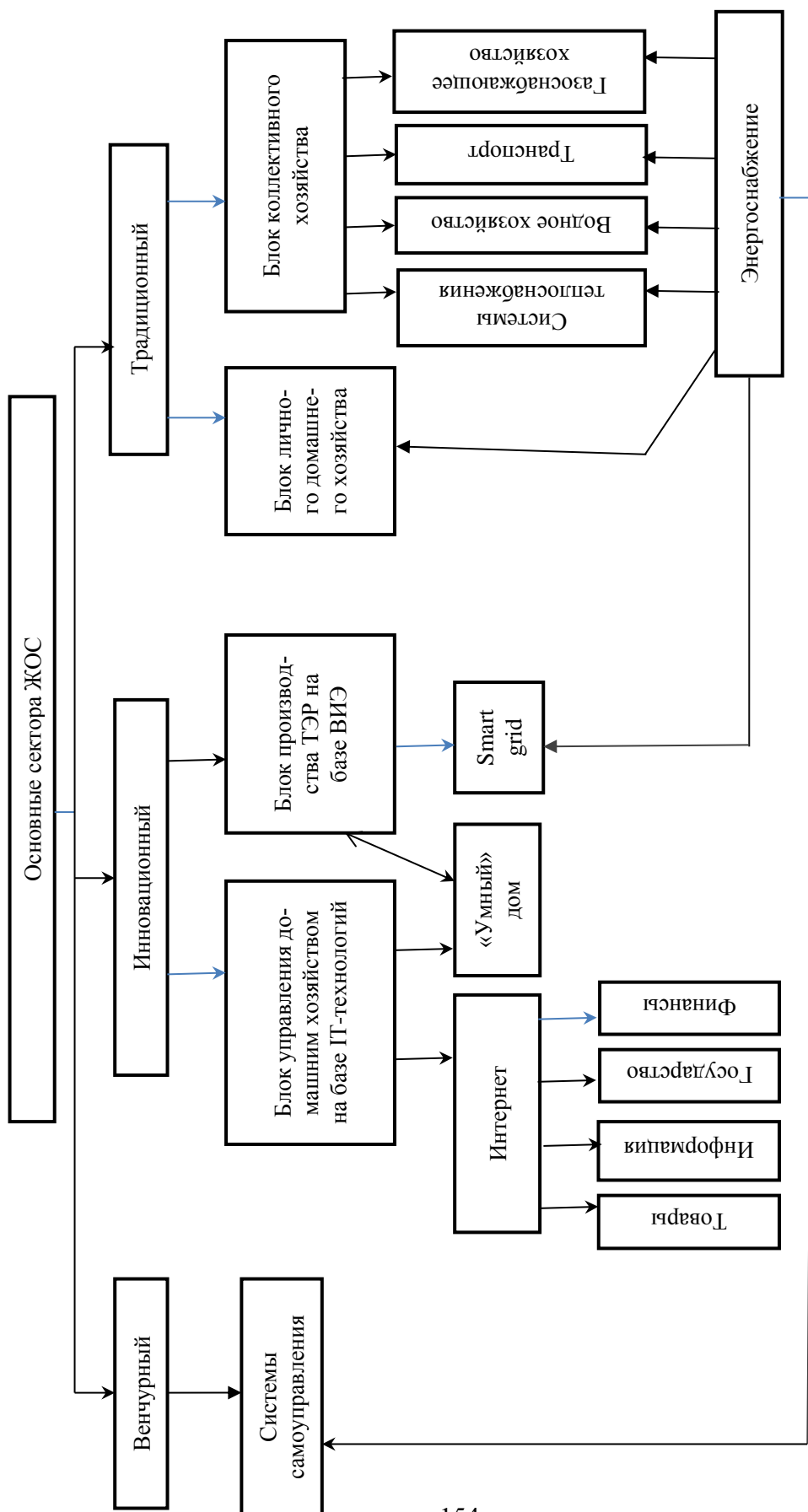


Рис. 3.4. Структура ЖЭС и её энергоснабжение

Особый блок этого сектора – производство ТЭР с использованием сочетания традиционных генерирующих источников с технологиями возобновляемой энергетики. В соответствии с АК произойдет развитие этого вида человеческой деятельности на базе распределённой энергетики, интеграции производителя и потребителя, технологий «smart grid», «умный дом» и т.д.

На уровне бытового потребления традиционный сектор ЖОС содержит блок индивидуального (личного) домашнего хозяйства (энергоснабжение которого должно обеспечить работу всех электроприборов) и блок коллективного хозяйства, включающего ЖКХ, в том числе водоканальное хозяйство, общественный транспорт, систему газоснабжения, утилизацию бытовых отходов и т.д.

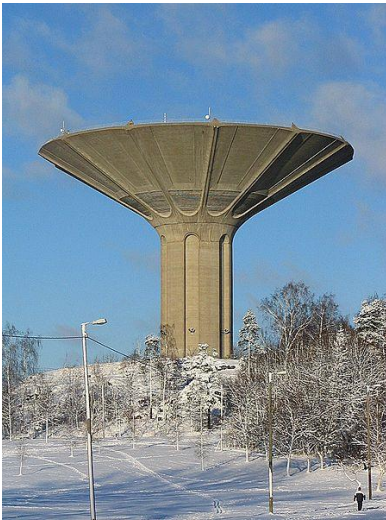
В настоящее время все системы коллективного хозяйства, связанные с жизнеобеспечением, хотя и взаимодействуют друг с другом, но это взаимодействие имеет фрагментарный характер. Отличительным свойством таких систем является их высокая социально-экономическая значимость. Одной из важнейших задач является такая гармонизация и координация их функционирования, которая сопровождается синергическими эффектами, в том числе – снижением потребности в ТЭР,

Задачей является создание условий, при которых возможности роста эффективности энергоснабжения были востребованы и использовались ЖОС. Как было показано ранее на примерах блока ЖОС личного домашнего хозяйства, в ряде случаев можно достичь эквивалентного результата с многократно различающимися затратами. Аналогичная ситуация наблюдается и в блоке коллективного хозяйства.

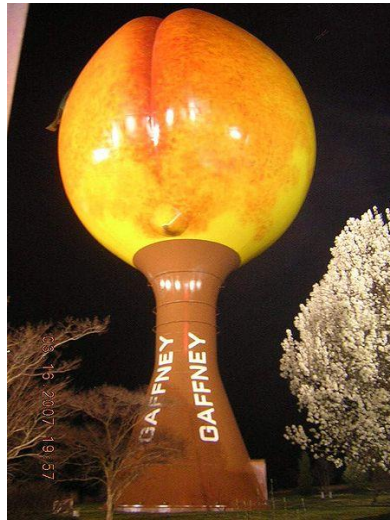
Регулируя график работы насосов первого подъема и наполнение резервуаров чистой воды (РЧВ) в водоканалах, можно обеспечить выравнивание графика потребления электроэнергии населенным пунктом. Рассматривая перспективы координации технологических процессов водо- и энергоснабжения, можно предложить следующий механизм. Установка РЧВ на возвышенности рядом с населенным пунктом позволит перевести работу системы водоснабжения в режим потребителя-регулятора электроэнергии. Наполнение РЧВ в период спада нагрузок приведет к аккумулярованию энергии. Так как график водоразбора коррелирует с графиком бытового электропотребления, то в период водоразбора можно срабатывать запасенную потенциальную энергию воды, частично покрывая полупиковое и пиковое потребление электроэнергии. Подобное решение является не анахронизмом и попыткой возродить водокачки (в частности, башни Рожновского), а является достаточно современным способом аккумулярования воды (рис. 3.5). С одной стороны, это является новым направлением развития распределённой энергетики, которое не развивается в Российской Федерации, а с другой – показывает, как один из самых крупных потребителей электроэнергии практически в любом населенном пункте может поменять статус и стать ее производителем в

периоды пикового спроса, выполняя регулирующие функции оптимизации работы энергосистемы.

а) Финляндия 1977 г.



б) США 1981 г.



в) Кувейт 1979 г.



**Рис. 3.5. Водонапорные башни в мире**

Однако в рамках действующей концепции развития энергетики и систем жизнеобеспечения этот процесс не может быть инициирован самим водоканалом даже при условии зонной по времени суток тарификации электроэнергии. Действительно, основанием для обоснования тарифа на следующий отчетный период является необходимая валовая выручка (НВВ). Поэтому, если в отчетном периоде текущего года будет уменьшена сумма оплаты электроэнергии, то на следующий период при утверждении НВВ в региональной энергетической комиссии будет снижен тариф, определяющий будущие финансовые поступления. При этом сам показатель энергоэффективности работы водоканала (абсолютная величина потребленной электроэнергии при одинаковом объеме водоснабжения) не изменится, так как показателем эффективности является удельный расход электроэнергии на водоснабжение ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ). Рассматриваемый механизм не ведет к изменению величины потребления электроэнергии, а только к изменению графика ее потребления. При более тщательном рассмотрении выяснится, что у водоканала могут возникнуть дополнительные издержки: возможен рост потребления электроэнергии и увеличение износа насосов в связи с усложнением графика их работы, вызванным более частыми включениями. Следует заметить, что в этих условиях невозможно определить задачу регулирования режима работы насосов для smart сети, так как технические службы водоканала всегда имеют возможность обосновать необходимость поддержания уровня воды в РЧВ с повышенной точностью либо регулярность включения насосов вне зависимости от задач оптимизации работы энергосистемы. Задача может быть решена только в рамках АК при комплексном рассмотрении на основе формирования гармонизированных производственных отношений водоканаль-

ного хозяйства (ВКХ) и энергоснабжающих организаций, когда всем сторонам будет невыгодно переходить к оппортунистическому поведению [172].

Вместе с тем объективно существует возможность участия ВКХ в регулировании графика нагрузки энергосистемы при условии практической неизменности технологического процесса водоснабжения. Отсутствие координации функционирования ЖОС, относящихся к разным ведомствам (энергосистемы и водоканального хозяйства) является причиной ситуации, когда энергосбережение в рамках ДК противоречит задаче повышения эффективности производственной деятельности систем энергетики. Сегодняшняя система тарифообразования ориентирована на обоснование максимальной необходимой валовой выручки конкретной локальной системы водоканального хозяйства. Она не способствует реализации задачи регулирования графика потребления электроэнергии на основе изменения работы ВКХ. Это указывает на необходимость выстраивания новой системы и соответствующих ей производственных отношений, при которых каждый хозяйствующий субъект как элемент этой новой системы будет экономически заинтересован в обеспечении оптимизации режимов работы энергосистемы на основе совокупности возможностей smart технологий.

Набор доступных на сегодняшний день технических решений в совокупности с организационно-экономическими механизмами регулирования потребления энергии позволят решить задачу снижения спроса на пиковые мощности, что было показано на ранее приведенных примерах. Причем существуют технологические возможности достижения одинакового результата (обеспечение требуемого микроклимата у потребителя) на основе множества технологических решений, стоимость реализации которых может различаться в 100 и более раз. И выбор того или иного варианта зачастую объясняется не технологической доступностью, а теми подходами, на которых построены производственные отношения. И в ряде случаев при эквивалентном качестве исполнения одинаковые технологические решения имеют совершенно разный системный эффект в зависимости от того было ли учтено изменение режимов работы смежных систем жизнеобеспечения.

Действительно, эффективность программы реконструкции жилого фонда с увеличением теплоизоляционных параметров зданий была бы значительно выше при ее реализации не в зоне действия ТЭЦ Москвы, а в муниципалитетах с системой теплоснабжения на основе котельных. Аналогично инвестиционные затраты на перевод ТЭЦ Москвы в парогазовый режим было бы целесообразней использовать на перевод котельных в режим комбинированной выработки тепла и электроэнергии в объеме круглогодичной тепловой нагрузки горячего водоснабжения. Надстройка РТС, находящихся в зоне действия ТЭЦ, газотурбинными установками привели не к экономии энергоресурсов, а к дальнейшему вытеснению работы ТЭЦ из теплофикационного в конденсационный режим производства электроэнергии и т.д. То есть задача определе-

ния уровня оптимальной теплозащиты наружных элементов зданий [565, 567, 583] должна решаться не только с учетом климатических особенностей (градусо-суток отопительного периода и т.п.), но и к привязке к конкретной схеме теплоснабжения.

Долгие годы система энергоснабжения города развивалась практически автономно от потребителя. Как для энергосистемы города, так и для ее потребителя (зданий и сооружений) решение проблемы изменения цен на энергетические ресурсы возможно только на основе нового подхода к рассмотрению комплекса «теплоэлектростанция + тепловые и электрические сети + потребитель (здания и сооружения) + окружающая среда» как единой теплоэнергетической системы, несмотря на очевидную противоречивость интересов потребителя и энергопроизводящих компаний [99].

Существует некий рациональный (возможно, оптимальный) уровень энергосбережения у потребителя, который, с одной стороны, удовлетворяет его как по единовременным капитальным вложениям в энергосберегающие и экологические мероприятия, так и по эксплуатационным затратам, а с другой стороны, обеспечивает достаточные объемы производства энергии и приемлемую структуру ее себестоимости у энергопроизводящей компании. Другими словами, существует целесообразный уровень теплозащиты оболочки зданий, который устраивает потребителя, энергопроизводящие компании и город в отношении экологических последствий сжигания органического топлива для окружающей среды и климата [99]. Причем этот уровень зависит от существующей системы энергоснабжения и должен различаться для зданий, расположенных в зонах теплоснабжения ТЭЦ, и для находящихся в поселениях, где комбинированная выработка тепла и электроэнергии (во всяком случае, при сегодняшнем уровне технологического развития) нецелесообразна, например, небольших негазифицированных населенных пунктах. В случае отдельного теплоснабжения зданий и производства электроэнергии на КЭС, теплоизоляционные параметры наружных элементов зданий должны быть выше, чем при расположении аналогичного здания в зоне действия ТЭЦ.

Следствием является тот факт, что при переходе к рассмотрению вопроса улучшения теплозащиты группы зданий с учетом преимуществ замещения отдельного производства электроэнергии на КЭС, а тепла котельными на комбинированную схему энергоснабжения, в ряде случаев может оказаться, что большее снижение потребления ископаемых видов топлива достигается за счет перехода к когенерации, а не утепления наружных поверхностей стен зданий.

Развитие этой мысли приводит к необходимости в рамках новой системы создания интеллектуальной энергетической сети, охватывающей всю технологическую цепочку «производитель–потребитель». Причем потребителя необходимо рассматривать не только по отдельному параметру (тепловой энергии, как это было осуществлено при составлении и реализации программы реконструкции жилого фонда г. Моск-

вы), а по всему комплексу получаемых ресурсов. Продолжением данной точки зрения является теоретический вывод об отсутствии необходимости доводить до совершенства некий отдельно взятый параметр. Фактически это положение следует из более общего утверждения академика А.А. Макарова о том, что «энергетические технологии обычно работают не изолированно, а в комплексах или системах, где сумма локальных оптимумов не соответствует глобальному. Поэтому важным направлением энергетической науки является исследование и конструирование энергетических систем» [44].

Подтверждением данного положения является необходимость комплексного подхода к улучшению теплоизоляционных свойств наружных поверхностей домов, находящихся в зоне действия ТЭЦ. Достаточно дорогостоящие мероприятия по утеплению фасадов проводятся с целью экономии потребления тепла. Однако, если тепловое потребление группы потребителей становится меньше производства тепла в теплофикационном режиме, то это приводит к необходимости генерации электроэнергии в конденсационном режиме и росту обогрева окружающей среды, либо снижению мощности, либо остановке источника. В итоге, несмотря на значительное сокращение потребления тепловой энергии зданиями, расход первичной энергии в энергосистеме города (в Москве в основном природный газ) может практически не измениться, и значительные капиталовложения будут фактически выброшены «на ветер» [99].

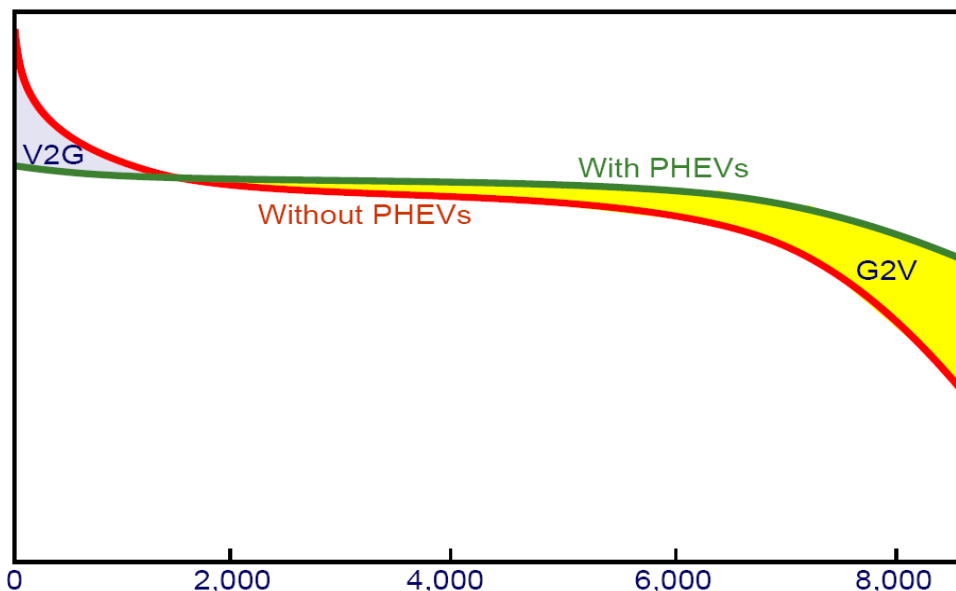
Необходимо учитывать, что энергетика является одной из самых инерционных отраслей экономики: жизненный цикл систем энергоснабжения, как правило, превышает период существования большинства технологий. Поэтому при построении систем энергоснабжения следует предусматривать возможность развития с учетом новых технологических решений.

Одной из иллюстраций инновационного блока на схеме рис. 3.3 является перспектива вовлечения в оптимизацию энергоснабжения электромобилей. Это направление имеет значительный потенциал: мощность двигателей транспортных средств более чем на порядок превосходит мощность электростанций. Так суммарная мощность всех автомобилей, покупаемых в Австралии за 4 месяца, равняется мощности ее энергосистемы [143].

На первом этапе электромобили будут составлять незначительную долю среди купленных, но согласно прогнозу Министерства Энергетики США 2011 г. по оценке количества электрических транспортных средств на североамериканских дорогах, к 2015 г. количество plug-in гибридов и электромобилей в США предполагалось, что вырастет до 1,2 млн [144]. Прогноз оказался завышенным, и по состоянию на 2016 г. по дорогам США ездило 400 тыс. электромобилей, что, тем не менее, является показателем резкого роста по сравнению с 2010 г., хотя и значительно меньше, чем обозначенный президентом Обамой целевой уровень электромобилей к 2015 г. [450].

В мире на конец 2016 г. насчитывалось около 2 млн электромобилей, из которых половина (1 млн) была продана за 2016 г. МЭА прогнозирует, что к 2020 г. их количество будет в промежутке от 9 млн до 20 млн и в промежутке от 40 млн до 70 млн к 2025 г. [477]. Без учета электробусов, количество проданных электромобилей достигло четырехмиллионной отметки в сентябре 2018 г. и продолжает увеличиваться. Продажи в 2018 и 2019 гг. превышали 2 млн ед. в год

Для энергетики особый интерес представляет концепция двустороннего использования электромобилей, подразумевающая подключение машины в энергосистему для подзарядки автомобиля и отдачу электроэнергии обратно в сеть (Vehicle to grid concept (V2G)). У владельцев автомобилей с технологией V2G будет возможность продавать электроэнергию энергетикам в часы, когда машина не используется, и заряжать автомобиль в часы, когда электроэнергия дешевле. На рис. 3.6 [143] показана возможность полного решения задачи производства электроэнергии в период 10%-го годового максимального спроса (см. рис. 2.18, б) на основе электромобилей. На примере энергосистемы Нового Уэльса Австралии (пик нагрузки 14,1 ГВт), сравнимого по мощности с энергосистемой Московского региона, показано, что для этой цели достаточно менее 100 тыс. легковых автомобилей. При этом рост потребления электроэнергии в результате перехода на гибридные и полностью электрические транспортные средства в рассматриваемом объеме составит менее 1% [143]. Постепенно данный подход находит поддержку и активно воплощается в большинстве стран [415].



**Рис. 3.6. Использование электромобилей для регулирования производства электроэнергии (число часов использования в год, относительная величина спроса на электроэнергию)**

Вместе с тем целый ряд спецтехники (машины МЧС, доставки почты, автомобили скорой помощи, поливальная техника, а также машины по уборке мусора и др.),



припаркованной в гаражах и выполняющей рейсы по заранее определенным маршрутам, следовало бы перевести в гибридный режим в рамках концепции V2G. То есть задачу резервирования электроснабжения десятков тысяч районных больниц, пожарных частей и т.д. решать не при помощи приобретения резервных дизельгенераторов с последующей организацией службы их эксплуатации и далеко не достоверной возможностью запуска в случае необходимости, а в результате перевода спецтехники муниципалитетов в режим V2G. Такая постановка вопроса не может быть правомочна в рамках ДК, предполагающей независимое решение при развитии отдельных задач энергоснабжения [400].

Синергический эффект перевода спецтехники на электропривод заключается в следующем. Существует прямая взаимосвязь выбросов вредных веществ и роста количества заболеваний (с увеличением риска преждевременной смерти людей). На основе данных медицинского обслуживания вклад автотранспорта в загрязнение городской среды и соответственно в причины заболеваний от неблагоприятной экологии в США и Западной Европе составляет 80–85%. Неблагоприятная экологическая ситуация как следствие негативных последствий работы автомобильного транспорта, осложняемая факторами опережающего развития транспортной системы и роста автомобильного парка, приводит к необходимости учета экологической составляющей при обосновании инновационных решений и выбора новых технологий. Под влиянием ухудшения экологической ситуации в густонаселенных районах приоритет должны получить «чистые» технологии, для развития которых в передовых странах приняты государственные программы развития альтернативных источников энергии для транспорта [145].

Таким образом, путь координации развития энергетики и жизнеобеспечивающих систем, связанных с потреблением электроэнергии, заключается не в модернизации отдельных технологий и оборудования, а в пересмотре концепции развития и создания нового, инновационного по характеру технологического базиса энергоснабжения с целью обеспечить значительно более полное удовлетворение требований потребителей путем существенного изменения физических и технологических характеристик и функциональных свойств всех компонентов энергетической системы [136]. Данный вывод подтверждает корректность применения по отношению к энергетике более общего утверждения о том, что потенциал роста эффективности на 50–75% большинства производственных процессов заложен в управлении инновациями на предприятии [73, 494, 497]. В итоге проблема развития отечественной электроэнергетики выходит за рамки отраслевой задачи и рассматривается как национальная инновационная программа во взаимодействии с другими национальными проектами и программами. Совместное развитие ЖОС на базе концепции smart сети, включающей тепло-, газо-, водоснабжение, парк электромобилей и т.д. как элемент инновационной инфраструктуры, обеспечит формирование долгосрочного вектора развития, свяжет

научные исследования и разработки, бизнес-проекты, общественные и государственные интересы. При этом через 10–15 лет Россия, развивая отдельные направления в науке и технике, не объединенные системным подходом, сможет обладать определенным набором современных технологий, которые, однако, будут с успехом решать отдельные локальные задачи, но не позволят обеспечить решение системных задач развития энергетического комплекса на мировом уровне [136].

Решением является расширение спектра полномочий сетевых компаний и формирование условий для координации развития ЖОС, в частности систем тепло-, водо-, газо- и электроснабжения с технологическими процессами потребителей с целью обеспечения качественного бесперебойного энергоснабжения в российской глубинке, жизненно необходимого для ее дальнейшего существования. Более того, в сегодняшних условиях в Российской Федерации помимо системообразующих сетевых компаний отсутствует институт, способный решить проблему доведения качества и надёжности энергоснабжения и обеспечить условия для цифровизации экономики.

Возникла необходимость не только и не столько замены с последующей утилизацией и ликвидацией после выработки положенного срока отработанного оборудования на такое же новое, сколько качественной модернизации всех отраслей энергетики. Современное состояние российской энергетики определяется двумя ключевыми особенностями: предельной изношенностью инфраструктуры, означающей, что сроки начала создания новой энергетики практически совпадают с массовым выбытием из строя энергооборудования и необходимостью перевода энергетики на качественно более высокий уровень развития, вытекающий из требования конкурентоспособности российской экономики при ее интеграции в мировую [34]. Сегодня степень износа турбинного оборудования свыше 90%. Поскольку необходимо экономить электроэнергию, надо заново строить энергетику на новой технологической базе [324], создавая условия для последующего развития ВИЭ. Поэтому именно сейчас будет востребовано определение первоочередности приоритетов по восстановлению энергоэффективности систем жизнеобеспечения Российской Федерации и модернизации основных фондов, в том числе и энергетических [571, 578].

Задача повышения эффективности использования энергетических мощностей предполагает переход на новые требования к энергопотреблению на этапе проектирования любого промышленного и жилищно-коммунального потребителя. Заложенные на первоначальном этапе разработки технологических процессов возможности регулирования электропотребления в зависимости от плавающей цены электроэнергии позволят в наибольшей мере реализовать преимущества умных сетей. Как было показано на примере самого электроемкого в любом муниципальном хозяйстве потребителя – системы водоснабжения, это потребует новых подходов на этапе составления соответствующих программ социально-экономического развития не только муниципаль-

ных образований, но и регионов, а впоследствии – основ проектирования и организации производственных процессов объектов муниципальной инфраструктуры. В следующих разделах в качестве иллюстрации применимости данного утверждения исследованы возможности совместного развития газо- и электроснабжения, а также теплоснабжения и утилизации твердых бытовых отходов (ТБО).

### ***3.5. Альтернативный подход к построению энергоснабжения удаленных потребителей на основе газификации как пример координации развития систем электро и газоснабжения***

Примером нереализованного потенциала снижения затрат на энергоснабжение в результате оптимизации ЖОС является координация программ газификации и развития электроснабжения населенных пунктов Российской Федерации [174].

В Российской Федерации разработаны и проводятся в жизнь федеральные программы по развитию электроснабжения и газификации страны. Рассмотрение некоторых аспектов указанных программ позволяет говорить о целесообразности их увязки. Для энергоснабжения малых населенных пунктов следует отказаться от протяженных (до 70 км) малонагруженных (средняя мощность потребления до 10 кВт) ЛЭП среднего напряжения (6–10 кВ) (см. рис. 2.5) в пользу создания поселковых энергоисточников на базе привозного сжиженного или компримированного природного газа, поставка которого предусмотрена программой газификации.

В последние 5 лет в России осуществляется программа газификации регионов, основой которой является централизованное газоснабжение с доставкой сетевого газа по трубе. Президент России в интервью 22.06.2009 определил: «Цель Программы (газификации) – во всех наших деревнях, которые развиваются, и во всех наших городах должен быть газ до 2015 г. Газ нужно тянуть и для очень удаленных мест, которые расположены на расстоянии сотен километров». Уровень газификации России к началу 2005 года в среднем составлял 54%, доходя в городах и поселках городского типа до 61%, составляя в сельской местности 36%. В Сибири и на Дальнем востоке существуют огромные малозаселенные пространства, удаленные от газодобывающих регионов, где газа нет и выполнение планов газификации проблематично.

В соответствии с Концепцией участия ОАО «Газпром» в Программе газификации регионов Российской Федерации в зависимости от уровня и перспектив развития систем газоснабжения, регионы подразделяются на следующие три группы:

1. Регионы, имеющие развитую систему газопроводов и подключенные к Единой системе газоснабжения (ЕСГ). Их газификация будет осуществляться преимущественно сетевым природным газом.

2. Субъекты Российской Федерации, в которых существует местная система газоснабжения, обособленная от ЕСГ, или есть газовые (газоконденсатные) месторождения. Газификация этих регионов будет проводиться за счет создания или развития уже имеющихся собственных систем газоснабжения либо подключения к системам соседних краев и областей.

3. Регионы, не подключенные к ЕСГ и не имеющие ни региональных систем газоснабжения, ни газовых (газоконденсатных) месторождений. Здесь будет применяться только автономная газификация с использованием сжиженного природного газа (СПГ), компримированного природного газа (КПГ) или сжиженных углеводородных газов (СУГ). Деление на группы весьма условно, но отражает основные особенности в организации газоснабжения.

За 2005–2008 гг. в среднем по России уровень газификации возрос до 62%. Увеличение на 8% в основном достигнуто в результате газификации относительно крупных потребителей. Для мелких поселений ситуация практически не изменилась, в настоящее время газифицируются в основном регионы первой группы.

Предпроектные проработки развития несетевых технологий газификации, в частности, применения технологий СПГ и КПГ выполнены ОАО «Газпром промгаз» при разработке Генеральных схем газоснабжения и газификации субъектов РФ. В суммарном объеме потребности в газе 71 региона России до 21% потребления потребуется в виде СПГ, 16% – в виде СУГ. То есть потребность в газе почти на 40% должна быть покрыта за счет несетевых способов газификации [112].

Анализ выполнения программы газификации за 5 лет показывает недостаточный рост потребления СПГ. Опыт реализации пилотных проектов СПГ имеется только в Московской, Ленинградской и Свердловской областях [112]. При этом современные технологии СПГ позволяют обеспечить автономное газоснабжение малых населенных пунктов, фермерских хозяйств, коттеджных поселков, пансионатов, отдельных объектов промышленности, малых предприятий, куда нецелесообразно тянуть отдельную нитку газопровода. Расчеты показывают, что при годовом потреблении 38 млн м<sup>3</sup> автономная газификация сжиженным природным газом становится выгодной, если потребитель находится в 50 км от источника газа, а при годовом потреблении 75 млн м<sup>3</sup> – дальше 90 км [399].

СПГ, получаемый в Московской области, используется на единственном энергетическом объекте – мини-ТЭЦ из двух газопоршневых генераторов единичной мощностью 400 кВт. Других потребителей СПГ для целей энергоснабжения нет в связи с отсутствием инфраструктуры доставки и использования СПГ на объектах энергообеспечения. СПГ является универсальным энергоносителем и может быть использован для перевода автотранспорта на газомоторное топливо. Основным потребителем завода по производству СПГ является 11-й автобусный парк г. Москвы, при этом мощно-

сти установки производительностью 1 т СПГ в час, расположенной на территории Московского газоперерабатывающего завода, в 2010 г. были загружены на 30%. Отсутствие газовой инфраструктуры является основным лимитирующим фактором развития рынка СПГ.

Электрические сети страны являются крупнейшей сетевой инфраструктурой, которая покрывает всю заселенную часть страны, их назначением является электроснабжение всех потребителей вне зависимости от объемов потребления электроэнергии. При этом более высокие удельные издержки по снабжению мелких потребителей распределяются, согласно «котловому принципу» тарифообразования для услуг по передаче электрической энергии, на весь объем отпущенной электрической энергии.

В предыдущих главах на типовом примере Алтайского края было показано, что значительное количество мелких потребителей обеспечивается сетями длиной до 70 км (см. рис. 2.5). Потери в столь протяженных маломощных линиях превышают объемы потребляемой энергии, а трансформаторные мощности зачастую загружены в пределах 10%.

Стандарт РАО ЕЭС 2008 г. «Электроэнергетические системы. Определение предварительных технических решений по выдаче мощности электростанций. Условия создания объекта» определяет наибольшую допустимую длину ЛЭП (табл. 3.4).

Таблица 3.4

***Рекомендуемое напряжение для подключения к сети***

Напряжение, кВ	Допустимая мощность, МВт	Наибольшая допустимая длина, км
(6)10	2,1	5
20	7,5	8
35	9,3	20

Большая протяжённость существующих ЛЭП 6–10 и 0,4 кВ, повышенная доля потерь в них, изношенность на фоне растущего электропотребления говорят о необходимости поиска альтернативных путей организации электроснабжения малых населенных пунктов [115].

Сохранение сложившейся структуры локальных электрических сетей и построение аналогичной сети трубопроводов – тупиковый путь развития энергоснабжения страны.

Развитие системы распределения газа, практически полностью копирующей приведенные пороки сегодняшних электрических сетей, отмечено руководством Группы «Газпром». Удельная протяженность распределительных газопроводов, приходящихся на 1000 квартир, за 20 лет выросла в два раза: с 11,4 км в 1987 г.; до 22,1 км в 2007 г. Если в 1984 г. на сельскую местность приходилось только 25% газопроводов, то в 2007 г. – 62%. Таким образом, сегодня газификация в России направлена на село, причем находящееся в малонаселенной местности и значительной удаленности от ма-

гистральных газопроводов. Это требует расширения применения комплексной и автономной газификации с использованием СПГ. Например, газификация Колпашевского района Томской области газопроводом обошлась 1,2 млрд р., тогда как газификация этого же района с помощью СПГ, по проектным расчетам, стоила бы около 0,5 млрд р. [116].

Электро- и газоснабжение удаленных малых потребителей на базе разветвленных распределительных сетей электроэнергии и газа одинаково невыгодно обоим поставщикам. «Газпром» уже принял концепцию альтернативной газификации малых потребителей (потребители «третьей группы»), позволяющую отказаться от прокладки и эксплуатации протяженных магистральных малорасходных газопроводов. Показано, что капитальные затраты на организацию альтернативного газоснабжения СПГ с увеличением расстояния до потребителя изменяются незначительно, а капитальные затраты на строительство трубы увеличиваются в разы; при достаточном удалении потребителей целесообразнее доставка ПГ в жидком состоянии, напротив с увеличением объемов транспортируемого газа зона эффективного использования трубы увеличивается по сравнению с доставкой ПГ автомобильным транспортом [117].

При сохранении существующей системы электроснабжения надёжность трубопроводного газоснабжения во многом будет определяться надёжностью снабжения электроэнергией (электропривод компрессоров, автоматика управления, безопасность).

Количество аварий на 1000 км в год в системе газоснабжения значительно меньше, чем на ЛЭП: 0,5–1,5 на газопроводах; 9,5 – на внутригородских газовых сетях; 61 – на кабельных внутригородских линиях электропередач (6–10 кВ); 0,8–15 – на линиях электропередач; 260–820 – для теплосетей [118].

При проведении сравнения числа аварий на 1000 км в год кабельных внутригородских ЛЭП 6–10 кВ с числом аварий внутригородских газовых сетей следует, что при прокладывании и тех и других в грунте на ЛЭП происходит 30 аварий, а в газовых сетях 9,5 [126], число аварий воздушных ЛЭП составляет 4–20 [127].

На основе проведенных в МАИ исследований, в работе [128] показан рост аварийности ЛЭП на протяжении последних 30 лет в результате увеличения контрастности климатических изменений, возникновения ураганов, образования гололеда. В работе обосновывается, что утверждение об уменьшении надёжности электроснабжения только из-за сокращения инвестиций в электроэнергетику и снижения квалификации персонала нельзя считать верным, так как главной причиной является изменение климата. Рост контрастности климата значительно более негативно влияет на воздушные ЛЭП в сравнении с подземными газопроводами. В работе [129] приведены данные об аварийности ЛЭП на Северном Кавказе вследствие внутренних (износ, неквалифицированный персонал) и внешних (погода) причин. Согласно приведенным в работе дан-

ным, на шести ВЛ 500 кВ с 1998 по 2003 г. было зафиксировано 32 отказа по внешним причинам и только 16 – по внутренним. При общей длине этих ВЛ 1634 км число отказов на 1000 км только по внешним причинам составило 3,26, что в несколько раз больше, чем на газопроводах по всем причинам. На 17 ВЛ 330 кВ в тот же период произошло 66 отказов по внешним причинам и только 23 – по внутренним. При их общей протяженности 1853 км число отказов в год на 1000 км только по внешним причинам равнялось 5,94. Причем указывается, что этот поток отказов значительно превышает средние показатели за 1980-е гг.

*Предложением является – повышение эффективности энергоснабжения за счет координации развития двух в настоящее время независимых направлений: газификации и электроснабжения путем гармонизации интересов поставщиков энергетических ресурсов.*

При выполнении программы газификации создание у нового (в первую очередь малого) потребителя газа индивидуального источника производства электроэнергии на появившемся газовом топливе позволит резко повысить надёжность энергоснабжения и исключить затраты, связанные с эксплуатацией «магистральных» электросетей напряжением 6–10 кВ.

Вопрос о поставке и вводе в эксплуатацию автономных, полностью автоматизированных электрогенерирующих установок в стране практически решен. В период 2001–2007 гг. было приобретено более 4600 МВт генерирующего оборудования на основе двигателей внутреннего сгорания установленной мощностью менее 300 кВт [109]. Среди установок указанной мощности более 3500 МВт (77%) приходилась на агрегаты мощностью до 60 кВт. Они используются для автономного энергоснабжения, как правило, без связи сетью. Следует заметить, что указанная семилетняя тенденция наблюдалась, когда топливо для малых ДВС (бензин и дизтопливо) было на порядок дороже газа в пересчете на теплотворную способность. Снижение топливной составляющей для малых ДВС за счет замены бензина и дизтоплива на природный газ, как основного топлива, при прочих равных условиях должно значительно увеличить распространение этого сегмента генераторов. Таким образом, в стране есть реальная возможность изменить структуру энергоснабжения малых потребителей.

Для нужд таких потребителей в населенных пунктах необходимо создать хранилища СПГ с объемом хранения, рассчитанным не только на нужды теплоснабжения, но и на нужды производства электроэнергии. Пополнение запасов СПГ будет производиться наземным или речным транспортом.

В населенном пункте следует установить полностью автоматизированное электрогенерирующее оборудование, рассчитанное исходя из потребности данного поселения с необходимым объемом и структурой резервирования. Обслуживание электрогенерирующего оборудования должно осуществляться централизованной экс-

платационной организацией. Распределение электроэнергии можно осуществлять по существующим внутрипоселковым сетям.

Внесетевые поставки электроэнергии для удаленных потребителей доказали свою экономическую эффективность во многих странах ОЭСР и развивающихся странах, поскольку при этом поставщики электроэнергии могут избежать высоких затрат, связанных с прокладкой линий электропередачи. Уже из-за одних только размеров России в отдаленных районах, в зависимости от местных условий, локальная, децентрализованная генерация может быть конкурентоспособной по сравнению с традиционными технологиями.

Проведем экономическое сравнение двух вариантов электроснабжения потребителя мощностью 100 кВт, удаленного на расстоянии 10 км от существующей линии электропередачи. Согласно Стандарту ОАО «ФСК ЕЭС» «Укрупненные показатели стоимости сооружения (реконструкции) подстанций 35–750 кВ и линий электропередачи напряжением 6,10–750 кВ» [122], стоимость строительства одноцепной ВЛ переменного тока напряжением 6–10 кВ составляет 700 тыс. р./км. Фактически, учитывая расположение, территориальные коэффициенты регионов, где реально возможно создание предлагаемой децентрализованной энергетики, стоимость ВЛ длиной 10 км будет более 7 млн р. без стоимости подсоединения к ЛЭП и других дополнительных затрат (ПИР, районный коэффициент и др.).

Удельная рыночная цена электростанций на газовых двигателях внутреннего сгорания слабо зависит от единичной мощности в диапазоне от 1,6 до 1500 кВт и составляет 8–12 тыс. р./кВт (в ценах 2004 г.) [123]. Проектные, строительные, пусконаладочные работы (без стоимости выполнения технических условий для параллельной работы с сетью) и необходимость резервирования увеличат это значение до 30–45 тыс. р./кВт. Таким образом, капитальные затраты, необходимые для строительства 10 км ВЛ-10 практически эквивалентны созданию малой электростанции установленной мощностью 160–200 кВт. Даже принимая коэффициент загрузки потребителей, представленных на рис. 2.5, равным 0,1, такая электростанция покрывает потребности практически всех подобных потребителей. Фактически всё это при средней удаленности малых потребителей более чем на 10 км, целесообразности 50% резервирования (установка трех агрегатов мощностью 50% от максимального потребления) и учете конкретных требований каждого малого потребителя делает предлагаемое решение привлекательным.

Другими словами: вместо прокладки новых, вненормативных (длина более 10 км) и восстановления изношенных электрических сетей в рамках АК целесообразен переход к созданию поселковых децентрализованных источников электроэнергии, что дополнительно может послужить определенной защитой от вандализма и воровства



как основного оборудования (проводов), так и электроэнергии, относимых к коммерческим потерям и зачастую превышающих технологические потери.

Предлагаемый механизм становится еще более актуальным после ввода в действие Стандарта [114], согласно которому любое получение технических условий на увеличение потребления электроэнергии и (или) строительства энергоисточника, при расположении заявителя дальше 5 км от подстанции высокого напряжения требует перевода ЛЭП с 10 кВ на 35 кВ, а при дальности более 20 км – на напряжение 110 кВ (табл. 3.4). Стоимость выполнения подобных технических условий на подключение переведет в разряд убыточных практически любой проект по развитию промышленности, сельского хозяйства, а также строительству распределённой энергетики в российской глубинке.

Реализация предлагаемого подхода требует координации работ, проводимых в рамках Правил разработки и утверждения схем и программ перспективного развития электроэнергетики, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 17.10.2009 № 823, и программы газификации ОАО «Газпром».

Дополнительным преимуществом предлагаемого механизма повышения эффективности энергоснабжения в результате координации газификации и развития электросетевого комплекса России является то, что он в первую очередь ориентирован на таких потребителей газа, как удаленные населенные пункты с мелкими сопутствующими предприятиями реального сектора экономики (промышленности, сельского хозяйства и др.). Так как энергоснабжение любого поселения на территории самой холодной страны мира требует обеспечения теплом, системное решение вопроса снабжения газом и электроэнергией не может быть проведено без учета тепловой энергии, на производство которой расходуется более половины энергоресурсов.

Теплоснабжение может осуществляться либо за счет газа, распределяемого по поселковым сетям, либо от поселковых котельных. При современном уровне технологического развития при переводе котельной на газовое топливо должна быть проанализирована возможность совместного производства тепла и электроэнергии. В 30–50-летней перспективе (на временном горизонте, сравнимом с периодом эксплуатации инфраструктуры энергоснабжения) можно предположить, что тенденция построения систем совместного производства тепловой и электрической энергии на единичных мощностях вплоть до 1–2 кВт найдет свое воплощение в российских домохозяйствах. Отказ от эксплуатации магистральных систем подвода электроэнергии малым потребителям приведет к существенному сокращению эксплуатационных расходов и повышению надёжности энергоснабжения.

Предлагаемый механизм повышения эффективности системы энергоснабжения является легко адаптируемым к изменению объемов потребления. В случае увеличения числа жителей в населенном пункте существует возможность повысить мощ-

ность как путем наращивания количества энергоустановок, так и за счет замены энергоисточников на новые, более высокой единичной мощности. Аналогично при уменьшении потребности в энергии замена энергоисточников на меньшую единичную мощность позволит избежать необходимости работы в нерасчетных режимах с повышенными удельными расходами топлива. В обоих случаях инфраструктура остается практически неизменной, и формируется система, обладающая гибкостью и адаптируемостью к потребителю, что определяет условия для ее уверенного развития в будущем.

В результате проводимая в Российской Федерации программа газификации должна не просто привести к появлению газового топлива в малых населенных пунктах, но и стать основой преобразования системы электроснабжения, резко повышающей надёжность электроснабжения при одновременном снижении затрат.

Необходимо на государственном уровне провести корректировку существующих программ в области энергоснабжения для использования преимуществ совместного развития электроэнергетики и газоснабжения.

Создание поселковых изолировано работающих систем электроснабжения позволит отказаться от недопустимо дорогих в создании и эксплуатации протяженных малозагруженных ЛЭП среднего напряжения, расположенных в малонаселенных районах страны.

Для успешного функционирования предлагаемых систем энергоснабжения при осуществлении Национальной программы дорожного строительства представляется целесообразным учитывать потребности доставки СПГ.

### ***3.6. Координация переработки бытовых и промышленных отходов и теплоснабжения***

Применяемые сегодня технологии переработки твердых бытовых отходов (ТБО) обеспечивают только частичное решение проблем, возникающих в жилищно-коммунальном хозяйстве [510]. Предварительная сортировка, позволяя вернуть в хозяйственный оборот ряд ценных составляющих, предполагает накопление остатков, не представляющих коммерческого интереса на полигонах, либо их сжигание. В результате термической переработки ТБО на мусоросжигательных заводах (МСЗ) образуются шлаки и золы уноса, в состав которых входит недожог органической части [511]. Их масса составляет 20–45% от первоначальной массы ТБО. Захоронение полученных продуктов сжигания на полигонах приводит к постепенному растворению ряда компонент зольной части с последующим просачиванием в грунтовые воды. Нерешенным вопросом является прекращение проникновения в водный бассейн растворимых компонент минеральной части ТБО. Действующие технологии термической переработки ТБО не предусматривают получение нерастворимой несгоревшей минераль-

ной части со стабильными свойствами. Ее состав изменяется с каждой новой порции ТБО. Не меньшей проблемой является очистка уходящих газов в том числе от диоксинов и фуранов, образующихся при термической переработке ТБО.

В табл. 3.5 представлены технологии промышленного сжигания твердых видов топлива, применимые для термической переработки ТБО в Российской Федерации.

Таблица 3.5

**Основные технологии промышленного сжигания твердого топлива**

№	Технология (время промышленного освоения).	Применение при термической проработке мусора
1	Слоевое сжигание на колосниковых решетках (с конца XVIII в.; в том числе на наклонных, вращающихся колосниках – совершенствование в XIX–XX вв.)	1-й (французское оборудование), 2-й (немецкое оборудование) московские МСЗ, большинство действующих МСЗ РФ, планируемые МСЗ в Подмоскowie по японской технологии (наклонные колосниковые решетки с нижней подачей воздушного дутья)
2	Во вращающейся топке (с XIX в.)	
3	В кипящем слое – интенсивная подача воздуха снизу под измельченное горючее (с середины XX в.; по мере более высокой степени размельчения топлива – трансформация в пылеугольное сжигание)	Немецкое оборудование для кипящего слоя на 4-м московском МСЗ
4	Вихревое сжигание (с середины XX в.; подача воздуха по касательной (с тангенциальной составляющей) на измельченное горючее формирует вихревое движение частиц топлива)	
5	В расплаве (с 1970-х гг.): новая порция горючего помещается на нагретую до 1400°C поверхность расплава, вспененную путем подачи дутья снизу.	Применение ПЖВ на металлургических комбинатах в Ревде, Норильске, получение строительных материалов на предприятиях Минстройматериалов СССР. Испытание утилизации ТБО методом ПЖВ в Рязани
6	ПЖВ в комбинации с плазмотроном – с 1990-х гг.	Утилизация медицинских отходов, боевых отравляющих веществ, галогенсодержащих продуктов органического синтеза (установка в Первой клинической инфекционной больнице Москвы)

По мере совершенствования технологий снижался процент недожога. В крупных кусках при сжигании на колосниковых решетках он достигает 50%, практически никогда в среднем не опускаясь ниже 12–15%, во вращающихся печах снижен до 7–12%, при сжигании в кипящем слое и вихре – до 5–10%, при пылеугольном сжигании – до 3–7%. В случае помещения топлива в расплав (плавка в жидкой ванне (ПЖВ)), горючая часть полностью окисляется, а минеральная плавится и переходит в жидкую фазу [512]. При этом негорючие продукты разложения с температурой перехода в газообразное состояние ниже температуры расплава возгоняются над его поверхностью. Нелетучие элементы преимущественно переходят в минеральную часть расплава [513]. В результате происходит связывание в расплаве значительной доли серы, селена, теллура и других элементов.

Отличительными особенностями технологии термической переработки ТБО в жидкой ванне являются:

- регулируемая подача снизу дутья, которая приводит к барботажу жидкой массы расплава. С его поверхности происходит унос брызг расплава. Брызги являются очагами конденсации не переходящих в жидкую фазу и имеющих температуру возгонки ниже температуры расплава цинка, ртути, галлия, германия, осмия и других элементов. По мере отдачи тепла уходящими газами новой порции воздушного дутья происходит снижение температуры брызг расплава. Охлаждение потока ниже температуры возгонки летучих вызывает постепенную конденсацию на них этих элементов. Последующая сепарация на циклонах-разделителях охлажденных брызг (кусочков шлака), на которых сконцентрированы химические элементы с низкой температурой возгонки и поэтому не связывающиеся в расплаве, и осаждение пылей на электрофильтрах менее капиталоемки и проще реализуемы в сравнении с системами очистки уходящих газов альтернативных технологий;

- погружение и последующее нахождение до полного термического разложения и (или) расплавления всех составляющих новых порций ТБО в насыщенную подаваемым снизу дутьем пену расплава (и поэтому имеющей низкую плотность), что не требует их предварительного размельчения. Высокая теплопроводность и массивность расплава выравнивает температуру газообразных продуктов реакций. Отсутствие локальных перегревов выше температуры образования оксидов азота является отличительной особенностью технологии от других способов сжигания. Термостатирование при температуре 1350–1400 °С обеспечивает разложение органики и образующихся ее соединений с галогенами [514]. В результате в уходящих газах отсутствуют диоксины и фураны, синтезирующиеся при 550–900 °С и полностью разлагающиеся при 1250 °С за время не менее 2 секунд [515], что недостижимо при иных технологиях особенно при сжигании на колосниковых решетках, где постоянно образуются низкотемпературные зоны недожога [516; 517].

Поэтому при термической переработке ТБО методом плавки в жидкой ванне содержание диоксинов, фуранов на пять порядков ниже по сравнению с технологиями прямого сжигания ТБО, что подтверждено испытаниями, проведенными в 1991 г. Рязанском опытно-экспериментальном металлургическом заводе (РОЭМЗ) Института ГИНЦВЕТМЕТ под руководством Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. Содержание 2,3,7,8-тетрахлородибензо-пара-диоксина (ТХДД) составило  $(0,5-1,0) \cdot 10^{-17}$  г/м<sup>3</sup> при норме ПДК  $2,12 \cdot 10^{-12}$  г/м<sup>3</sup> (государственные нормы в Германии, Нидерландах, Австрии, Швейцарии – 0,1 нг/м<sup>3</sup>) [518].

Тепловыделение, происходящее при окислении горючей части, обеспечивает энергией расплавление минеральной части ТБО. По мере наработки расплава его удаляют тяжелую металлическую фракцию и более легкую – шлак. Металлическая фрак-

ция идет на дальнейшую переработку с выделением черных, цветных, редких и драгоценных металлов. Из шлака, в зависимости от его состава и температурных режимов кристаллизации, получают востребованные в строительной и дорожной отраслях материалы: цементный клинкер, плотный или поризованный гравий, минеральную вату, шлакоситаловые изделия (тротуарную плитку, трубы, сваи, шпалы, бордюрный камень и т.п.) [519].

Для достижения заранее заданных свойств шлака к ТБО добавляют инертные материалы – глину, песок, известняк (флюсование шлаков), что недостижимо при альтернативных технологиях термической переработки, в том числе с жидким шлакоудалением.

Для флюсования расплава зольной фазы ТБО перспективным является использование накопленных промышленных отходов, содержащих требуемые инертные материалы (соединения кремния, кальция и т.д.) [520].

Их количество превышает текущий объем ТБО на несколько порядков. Если текущий объем ТБО в РФ – 30–40 млн т в год, то текущий объем промтоходов оценивается в 5 млрд т, а накопленный превышает 30 млрд т [525]. Фактически промтоходы образуют подготовленные для использования техногенные месторождения, являясь минерально-сырьевой базой для развития народного хозяйства без освоения новых природных месторождений [521]. Серьезной проблемой является и так называемое захламление почв. Речь идет не только об экологическом ущербе, связанном с прошлой хозяйственной деятельностью, но и о неуклонном увеличении количества отходов, которые идут не на вторичный хозяйственный оборот, а на полигоны, а проще сказать – на свалки, которые, к сожалению, очень часто находятся в ненадлежащем состоянии и наносят вред природе и людям. В целом, согласно оценкам экспертов, около 15% территории Российской Федерации по экологическим показателям находится в критическом состоянии. И бездействие может привести к необратимым последствиям для окружающей среды [522]. Около 15 000 *санкционированных* объектов размещения отходов занимают 4 млн га (или более 11 соток на одну семью из 4 человек), и эта территория ежегодно увеличивается на 300–400 тыс. га [525]. Использование части накопленных промышленных отходов совместно с ТБО сможет снизить остроту данной проблемы, особенно в наиболее густонаселенных территориях, где и происходит образование бытовых отходов.

Еще в советское время к ряду техногенных месторождений проявляли интерес иностранные компании. Это связано с тем, что коэффициент извлечения полезных компонентов на многих предприятиях, перерабатывающих природное сырье, был очень низким. Так, например, в ЮАР при объемах добычи руды, сопоставимых с объемами «Норильского никеля», степень извлечения платиноидов и золота была более чем вдвое выше, чем на Норильском комбинате. При меньшем содержании осмия в

сумме платиноидов в ЮАР производили 1,5–2,5 т осмия в год, а годовой план по осмию для Норильского комбината устанавливался в 40–50 кг. Подобная ситуация характерна для большинства горнодобывающих предприятий России. За 100% базового норматива извлечения полезных компонентов бралось их содержание в концентрате обогащения, и в силу этого значительная часть ценных продуктов уходила в хвосты и отвалы. Например, в шлакоотвалах металлургических заводов европейской части России среднее содержание золота может превышать 1,5–2,5 г на т, содержание цинка достигать до 12%, ванадия – до 5%.

Отдельные руководители отраслей в СССР понимали необходимость и целесообразность создания специализированной индустрии утилизации и глубокой переработки отходов. Так Министром цветной металлургии СССР П.Ф. Ломако было создано в Рязани предприятие (РОЭМЗ), специализированное только на переработке шлаков и шламов различных отраслей промышленности. Его успешное функционирование являлось доказательством того, что в ряде случаев стоимость полученных продуктов в результате комплексной переработки промышленных отходов полностью окупает затраты на их переплавку.

При термической переработке методом ПЖВ металлы, содержащиеся в свободной и/или химически связанной форме в промотходах и ТБО, включая редкие и драгоценные, переходят в металлическую фазу расплава или конденсируются на брызгах. При дальнейшей переработке металлической фазы и брызгоуноса выделяют ценные составляющие, в том числе на аффинажных заводах. Флюсование инертными материалами промотходов зольной части расплава ТБО с целью получения заданных параметров по содержанию кальция, кремния и т.д. позволяет использовать её для получения материалов с необходимыми свойствами.

В итоге предлагаемого подхода переработка ТБО становится побочным процессом извлечения для коммерческого использования ценных компонент из промышленных отходов. В этом процессе роль ТБО сводится к топливообеспечению плавки промотходов.

Остановимся на энергетической составляющей переработки ТБО методом плавки в жидкой ванне. В результате избыточного строительства новых электростанций удельная выработка на киловатт установленной мощности в энергосистеме снизилась по сравнению с 1990 г. В электроэнергетике проблемой является не недостаток мощностей, работающих в базовом режиме, а покрытие пиковых нагрузок [523], что не может быть реализовано на основе термической переработки ТБО в силу невозможности регулирования графика выдачи мощности МСЗ. Поэтому генерация электроэнергии за счет термической переработки ТБО предусматривает содержание пиковых источников электроэнергии.

На протяжении десятилетий для утилизации ТБО приобреталось оборудование стран, где в силу климатических причин квартальное централизованное теплоснабжение получило ограниченное развитие. Такая же практика сохранится на ближайшее десятилетие, несмотря на декларации об импортозамещении. В частности, для Подмосковья выбрано оборудование Японии – страны, северная граница которой расположена на широте Владивосток – Сочи. В связи с не востребованностью централизованного теплоснабжения и отсутствия локализованных точек тепловой нагрузки в десятки, а тем более сотни мегаватт, единственной возможностью энергетического использования теплотворной способности ТБО является производство электроэнергии. Поэтому МСЗ в мире ориентированы на генерацию электроэнергии. Однако интегральным результатом развития этого направления стало достижение суммарной доли отходов в производстве электроэнергии в Европе 1,4% [526].

Таким образом, практика показывает, что это тупиковое направление. Например, тепловая мощность Второго московского МСЗ до его закрытия составляла 46 МВт (40 Гкал/ч), а электрическая – 2 МВт. Столь низкий коэффициент преобразования полученного тепла в электроэнергию (менее 5% – значимо меньше 9% КПД ушедших в прошлое паровозов) едва ли является прорывным решением 21 века. Данный факт – объективное следствие эффекта масштаба, сопровождающего на протяжении более столетия развитие тепловой энергетики. Его суть: рост эффективности паросилового преобразования тепловой энергии в электрическую по мере увеличения единичной мощности энергоблока. Поэтому только в весьма редких специфических случаях экономически целесообразно устанавливать паровые турбины мощностью менее 20–25 МВт. Это подтверждает многолетняя мировая практика тепловой энергетики: получили распространение паросиловые энергоблоки единичной мощности не менее 100 МВт. Наибольший объем генерации на теплоэлектростанциях в России обеспечивается паровыми турбинами мощностью 240–300 МВт с электрическим КПД более 30%. Оценки показывают, что при термической переработке всего текущего объема ТБО с энергетической эффективностью Второго московского МСЗ в России можно выработать не более 450-500 МВт электроэнергии в базовом режиме, что не является значимой величиной для повышения надежности работы отечественной энергосистемы.

Существенно более эффективной с точки зрения преобразования теплотворной способности ТБО в электроэнергию является их добавка к основному виду топлива – углю на крупных угольных электростанциях [524]. При этом все вышеперечисленные негативные вопросы, а именно захоронение частично растворимой зольной части ТБО, неравномерность температурного поля при сжигании, приводящего к образованию фуранов и диоксинов и необходимости последующей очистки всего объема уходящих газов от совместного сжигания угля и ТБО, остаются открытыми. А так как во всех развитых странах уже более десятилетия сохраняется устойчивый тренд вытеснения

угольной генерации другими источниками, то этот путь является бесперспективным. Экологический ущерб, возникающий при сжигании угля, в некоторых случаях в несколько раз превышает стоимость топлива [72].

В силу климатических особенностей в Российской Федерации на теплоснабжение расходуется в полтора раза больше первичного топлива, чем на генерацию электроэнергии. В связи с этим далее остановимся на утилизации попутного тепла термической переработки ТБО методом ПЖВ на цели теплоснабжения на промышленных котельных, а не на производство электроэнергии, как это предлагается делать в рамках ДК на основе ДПМ ТБО (инвестиционных проектов по строительству (реконструкции, модернизации) генерирующих объектов, функционирующих на основе использования отходов производства и потребления в соответствии с п. 249 Правил оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденных постановлением Правительства РФ от 27 октября 2010 г. № 1172). При этом возмещение капитальных затрат на производство электроэнергии из ТБО через механизм ДПМ составляет 379 тыс. р. на кВт установленной мощности, что, например, в 30 раз выше, чем у отобранных проектов модернизации генерирующего оборудования тепловых электростанций (12 100 р.) [667].

Производительность печи с площадью зеркала ванны 6 м<sup>2</sup> на подогревом воздушном дутье составляет 25–30 тыс. тонн ТБО в год, что соответствует потребностям в утилизации мусора микрорайона с населением 80–90 тыс. человек. Данный размер целесообразно выбрать в качестве унифицированного тиражируемого оборудования по следующим причинам.

При переработке ТБО в указанных объемах в среднем на протяжении года обеспечивается среднегодовая генерация тепловой энергии 8–9 Гкал/час. Полученное тепло целесообразно использовать для покрытия круглогодичной тепловой нагрузки в виде горячего водоснабжения. Так как отличительной особенностью термической переработки отходов является не подающаяся регуляции постоянная генерация, согласование с суточными колебаниями потребления ГВС следует обеспечивать путем установки аккумуляторов тепловой энергии (баков-накопителей горячей воды). Целесообразным является привязка установок по термической переработке ТБО к сформировавшемуся тепловому потреблению путем их интеграции с учетом санитарно-экологических требований в промышленные и городские котельные. Для климатических условий центральной европейской части России разбор ГВС в объеме 8–9 Гкал/час соответствует пиковой потребности в периоды максимального спроса на тепло у потребителей городской застройки порядка 50–70 Гкал/час. При отсутствии децентрализованных источников тепла котельные такой мощности обеспечивают теплоснабжение микрорайона с населением 30–60 тыс. человек. Покрытие круглогодичной тепловой нагрузки ГВС за счет термической переработки ТБО позволит заместить



20–25% потребления топлива на этих котельных или порядка 10% всего потребления топлива на нужды муниципального теплоснабжения.

Котельные с фактическим теплопотреблением столь большой мощности являются весьма нечастым явлением, особенно после 25-летнего тренда снижения потребления тепла и децентрализации теплоснабжения: установки крышных, пристроенных и иных локальных источников тепла. Тем более редким является сохранение фактической кратно большей тепловой нагрузки в 100–140 Гкал/час, 150–210 Гкал/час, необходимых для полезной утилизации тепла двух и более унифицированных установок по термической переработке ТБО методом ПЖВ в одной точке. Локализованное тепловое потребление еще большего объема, как правило, формировалось для ТЭЦ – комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Поэтому увеличение производительности по объему переработки ТБО установок путем роста площади зеркала ванны нецелесообразно и существенно сузит количество возможных точек для полезного использования тепла в сформировавшихся за десятилетия системах теплоснабжения российских городов. По аналогичной причине резервирование по переработке ТБО на случай регламентных работ либо аварийных ситуаций следует обеспечивать путем параллельной работы независимых установок в разных точках системы теплоснабжения городской агломерации, а не созданием нескольких установок в одной точке. В результате диверсификации топливно-энергетического баланса повысится надежность энергоснабжения за счет появления нового независимого и постоянно возобновляемого источника первичного топлива.

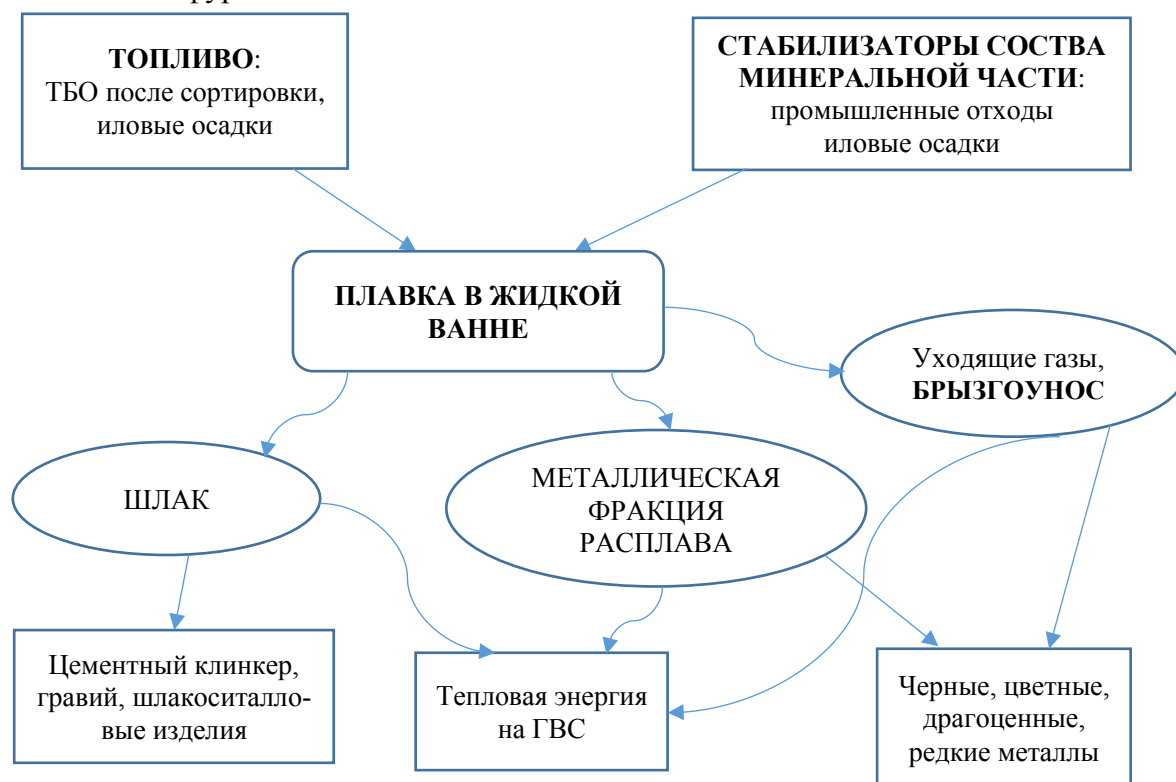
Если в среднем в течение года роль ТБО как топлива высока, то при более детальном рассмотрении выясняется, что его теплотворная способность может меняться на десятки процентов. В осенние месяцы она зачастую имеет отрицательные значения в силу высокого влагосодержания пищевых отходов. Проблема эпизодического снижения теплотворной способности ТБО решается дополнительными первичными энергоносителями котельной (углем, газом). Для многих отраслей ПЖВ является механизмом решения отраслевых экологических проблем: утилизации замазученных грунтов, ветоши и т.д. Перспективным является использование в качестве топлива старых деревянных шпал, складываемых в штабелях в покгаузах, на привокзальных площадках, прилегающих к путям территориях и промзонах. На свалки и технические полигоны их не принимают, так как сжигать деревянные шпалы, пропитанные токсичным ядовитым креозотом нельзя. Находясь в штабелях на открытых площадках, шпалы выделяют в атмосферу, а под воздействием дождя в почву ядовитый креозот и его компоненты, а также хлористый цинк. Таким образом, в результате термической переработки старых шпал в печах ПЖВ может быть решена важная отраслевая экологическая проблема.

Универсальным решением поддержания теплотворной способности ТБО в периоды ее снижения является термическая переработка ТБО и промходов совместно с

накопленными иловыми осадками. Их влажность после нескольких сезонов хранения под открытым небом снижается до 30%. Сжигание иловых осадков с последующей выработкой электроэнергии, как это происходит на станциях аэрации Люберецких очистных сооружений Москвы, на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга, не является значимым для энергоснабжения этих мегаполисов, составляя менее 0,1% от их потребностей. При этом вопросы утилизации золы, получаемой при сжигании илов, остаются нерешенными, как и при применяемых сегодня технологиях термической переработки ТБО.

Технология переработки ТБО путем плавки в жидкой ванне (рис. 3.7) является не только необходимой для обеспечения устойчивого регионального развития, но и единственно возможной, так как только она обеспечивает полную утилизацию ТБО, включая перевод их зольной части в нерастворимую форму, а также отсутствие диоксинов, фуранов в уходящих газах. В то же время она является достаточной для обеспечения экологической безопасности. Дополнительные надстройки в виде плазмотронов не дадут появления качественно новых результатов, но при этом приведут к значимому увеличению капитальных затрат и эксплуатационных издержек.

В отличие от других альтернативных способов термической переработки ТБО, плавка в жидкой ванне (ПЖВ) не приводит к загрязнению воздушного бассейна диоксинами и фуранами.



**Рис. 3.7. Блок-схема комплексной термической переработки ТБО промышленных отходов и иловых осадков**

Технология ПЖВ является единственной, обеспечивающей перевод зольной части изменчивых по составу ТБО в нерастворимую форму.

В результате использования ТБО и накопленных иловых осадков в качестве топлива для производства стройматериалов из промходов без увеличения тарифов на утилизацию ТБО возможна их термическая переработка при соблюдении экологических требований. Дополнительными источниками прибыли становятся нереализуемые сегодня возможности, а именно – извлечение цветных, редких и драгметаллов из ТБО и совместно с ними перерабатываемых промходов; получение материалов для строительной и дорожных отраслей; использование попутного тепла на теплоснабжение.

### ***Выводы к главе 3***

1. Объектом альтернативной концепции развития электроэнергетики является новая система, в результате ингрессий включающая в себя всех участников единого технологического процесса «производство-потребление ТЭР». Новая совокупность элементов, закономерно связанных в единое целое, обладает свойствами, отсутствующими у элементов его образующих. Это восприимчивость к организационно-экономическим и организационно-техническим механизмам, сфокусированным на снижении издержек производственной деятельности новой системы, включающей в себя потребителей электроэнергии. В АК осуществляется перманентный процесс управления спросом и предложением на основе современных технологий интеграции секторов производства и потребления энергии, что обеспечивает более эффективное использование производственных мощностей в отличие от ДК, предполагающей такое автономное рассмотрение данных секторов, при котором объемы производства ТЭР определяются спросом, экзогенно задаваемым сектором потребления. Организационно-экономическим механизмом регулирования графика потребления электроэнергии является плавающая цена электроэнергию, перманентно устанавливаемая в каждой микросети.

2. Согласно АК потребитель становится ключевым элементом неразрывной технологической цепочки «производство-потребление ТЭР», который в формате АК персонифицирует в одном лице потребителя, производителя и менеджера, балансирующего процесс производства и потребления. Его традиционная функция элементарного потребления дополняется новыми функциями:

1) управления спросом на основе применения современных цифровых технологий, интеллектуальных коммуникационных сетей, новых технологий аккумулирования энергии;

2) производства энергоресурсов на базе локальных источников;

3) комбинирования традиционных видов производств с технологиями использования ВИЭ.

3. В связи с низкой результативностью имеющихся организационно-экономических механизмов требуется их дополнение системой организационно-технических механизмов. Результатом совместного применения организационно-экономических и организационно-технических механизмов является рост структурной устойчивости, который проявляется в высвобождении и последующем использовании не реализуемых ранее резервов снижения издержек и повышения эффективности энергоснабжения.

4. При переходе к развитию электроэнергетики на основе предложенных в АК положений синергический эффект достигается не только на микроэкономическом уровне (координация потребителей электроэнергии и энергосистемы, распределённой и централизованной энергетики), но и на уровне мезоэкономики: при взаимодействии систем жизнеобеспечения. В отличие от автономного функционирования этих систем, формирование между ними кооперационных, коммуникационных и координационных связей, реализуемых с использованием современных IT-технологий управления бизнес-процессами, обеспечит использование ранее не в полной степени реализованных возможностей повышения их эффективности и снижения потребления ископаемых видов топлива, а именно:

- значительное снижение капитальных затрат энергоснабжения малых населенных пунктов на основе газификации без необходимости поддержания незагруженных электрических сетей в результате совместной реализации программ газификации и развития электроснабжения;

- выполнение функции регулирования работы энергосистемы при практической неизменности технологического процесса водоснабжения одними из самых крупных потребителей в каждом населённом пункте – водоканалами при практической неизменности технологического процесса водоснабжения;

- обеспечение утилизации ТБО без роста тарифов и снижение потребления органического топлива на промышленных котельных на цели теплоснабжения в результате нового подхода к обращению с ТБО и накопленными иловыми осадками, основанного на использовании их теплотворной способности для расплавления минеральной части бытовых и промышленных отходов.

*Монография*

С.А. Некрасов

**ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ  
РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Часть 1.

От роста мощности энергосистемы  
к повышению структурной устойчивости  
электроэнергетики

---

Подписано в печать 11.01.2021 г.

Формат 60×90/16. Печ. л. 11,3. Тираж 50 экз. Заказ № 1  
ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН

117418, Москва, Нахимовский пр., 47

Тел. 8 (499) 724-21-39

E-mail: [ecr@cemi.rssi.ru](mailto:ecr@cemi.rssi.ru)

<http://www.cemi.rssi.ru/>

---

ISBN 978-5-8211-0791-6



9 785821 107916