МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**И.О. Волкова, Е.Д. Бурда, Е.В. Гаврикова,
К.В. Суслов, А.В. Косыгина, М.В. Горгишели**

Трансформация электроэнергетики: тренды, модели, механизмы и практики управления

Монография

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического университета
2020

УДК 620.9
ББК 31.2
В67

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Рецензенты:

д-р экон. наук, профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина **В.А. Зубакин**;

д-р экон. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Санкт-Петербургский Политехнический университет им. Петра Великого **В.В. Глухов**;

д-р экон. наук, профессор, Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина **Л.Д. Гительман**

Авторы:

д-р экон. наук, профессор департамента стратегического и международного менеджмента Высшей школы бизнеса Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» **И.О. Волкова**;

преподаватель департамента стратегического и международного менеджмента Высшей школы бизнеса Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» **Е.Д. Бурда**;

преподаватель департамента стратегического и международного менеджмента Высшей школы бизнеса Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» **Е.В. Гаврикова**;

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» **К.В. Суслов**;

зам. директора Экспертного института Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» **А.В. Косыгина**;

ассистент департамента стратегического и международного менеджмента Высшей школы бизнеса Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» **М.В. Горгишели**

Волкова И.О., Бурда Е.Д., Гаврикова Е.В., Суслов К.В., Косыгина А.В., Горгишели М.В. Трансформация электроэнергетики: тренды, модели, механизмы и практики управления : монография. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2020. – 354 с.

Приведен подробный анализ трендов, лежащих в основе трансформации энергетической отрасли. Произведен анализ преобразований с точки зрения глобальных процессов, влияющих на отрасль, а также моделей и механизмов развития интеллектуальной энергетики. Рассмотрены вопросы регулирования электроэнергетики и направления совершенствования существующих регуляторных механизмов. Представлены перспективы развития рассматриваемых практик, инновационный потенциал традиционных электроэнергетических компаний на российском рынке, технологический и организационный базис перехода к экосистемному характеру развития электроэнергетики.

Предназначена для специалистов в области экономики и управления электроэнергетикой отрасли.

ISBN 978-5-8038-1553-2

© Волкова И.О., Бурда Е.Д., Гаврикова Е.В., Суслов К.В., Косыгина А.В., Горгишели М.В., 2020
© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2020

Оглавление

ГЛОССАРИЙ 6
ВВЕДЕНИЕ 8
ГЛАВА 1. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ: КЛЮЧЕВЫЕ ТРЕНДЫ 10
1.1. Глобальные тренды развития электроэнергетики 10
1.2. Интеллектуальная энергетика: модели и механизмы развития 32
1.2.1. Развитие интеллектуальной энергетики 32
1.2.2. Взаимодействие институциональных систем страны, влияющих на реализацию энергетического перехода 44
1.2.3. Развитие интеллектуальной энергетики в России 49
1.3. Механизмы стимулирования развития интеллектуальной энергетики 57
1.3.1. Стимулирование развития интеллектуальной энергетики за рубежом 57
1.3.2. Механизмы развития интеллектуальной энергетики в России 65
ГЛАВА 2. СТРУКТУРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ 69
2.1. Трансформация электроэнергетики: структура отрасли, состав участников и форматы их взаимодействия 69
2.1.1. Трансформация электроэнергетики: изменение цепочки создания ценности отрасли 69
2.1.2. Изменение состава участников отрасли и формата их взаимодействия 78
2.1.3. Механизмы взаимодействия экономических агентов в цепочке создания ценности в энергетическом секторе 85
2.1.4. Тенденции и проблемы развития изолированных систем электроснабжения 97
2.2. Механизмы взаимодействия экономических агентов в интеллектуальных энергетических системах 103
2.2.1. Примеры и тенденции развития механизмов взаимодействия экономических агентов в ИЭС 104
2.2.2. Механизмы организации и координации взаимодействия экономических агентов интеллектуальных энергетических систем 107
2.3. Трансформация моделей регулирования электроэнергетики 111
2.3.1. Изменение требований и задач регуляторов в электроэнергетике 111
2.3.2. Анализ регуляторных механизмов в электроэнергетике 118
2.3.3. Направления трансформации регуляторных механизмов в электроэнергетике 133

ГЛАВА 3. РЫНКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И МОДЕЛИ ИХ РАЗВИТИЯ 138
3.1. Базовые модели рынков электроэнергии 138
3.2. Анализ моделей розничных рынков электроэнергии за рубежом .. 142
3.2.1. Опыт США 142
3.2.2. Опыт Китая 147
3.2.3. Опыт Вьетнама 151
3.2.4. Опыт Сингапура 154
3.2.5. Опыт Германии 157
3.2.6. Опыт Великобритании 160
3.2.7. Сравнительный анализ текущих моделей розничных рынков зарубежных стран 163
3.3. Влияние активных моделей поведения потребителей на розничные рынки электроэнергии 166
3.3.1. Пассивные потребители 167
3.3.2. Активные потребители 168
3.3.3. Детерминанты потребительского поведения 172
ГЛАВА 4. СОВРЕМЕННЫЕ ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПАНИЯМИ 174
4.1. Управление активами в рамках процесса цифровизации электроэнергетики 174
4.1.1. Практики управления производственными активами в электроэнергетике и внедрение стратегического подхода 174
4.1.2. Перспективы развития практик управления производственными активами в электроэнергетике в условиях цифровизации 192
4.2. Бизнес-модели электроэнергетических компаний в рамках трансформационных преобразований отрасли 195
4.2.1. Трансформация бизнес-моделей основных участников электроэнергетического рынка 197
4.2.2. Трансформация бизнес-моделей энергетических компаний на розничных рынках электроэнергии. 216
4.2.3. Возможные направления трансформации бизнес-моделей российских энергетических компаний 232
4.2.4. Инновационный потенциал традиционных электроэнергетических компаний на российском рынке 237
4.3. Инновационные экосистемы в электроэнергетике 244
4.3.1. Особенности экосистем инноваций в электроэнергетике 248
4.3.2. Ключевые экономические агенты в инновационной экосистеме в электроэнергетике и процесс их взаимодействия 251
4.3.3. Мотиваторы для взаимодействия экономических агентов в инновационной экосистеме в электроэнергетике 257

4.3.4. Развитие инновационных экосистем в интеллектуальных энергетических системах 261
4.3.5. Технологический и организационный базис перехода к экосистемному характеру развития 265
4.3.6. Существующие модели инновационных экосистем в российской электроэнергетике 269
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 280
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 283
Приложение А. Ключевые элементы технологического базиса ИЭС 309
Приложение Б. Опыт США в реформировании розничного рынка электроэнергетики 312
Приложение В. Опыт Китая в реформировании розничного рынка электроэнергетики 320
Приложение Г. Опыт Вьетнама в реформировании розничного рынка электроэнергетики 328
Приложение Д. Опыт Сингапура в реформировании розничного рынка электроэнергетики 334
Приложение Е. Опыт Германии в реформировании розничного рынка электроэнергетики 341
Приложение Ж. Опыт Великобритании в реформировании розничного рынка электроэнергетики 347
Приложение И. Перечень проектов, реализуемых в рамках EnergyNet 351

ГЛОССАРИЙ

AI	Artificial intelligence Искусственный интеллект
Blockchain	Информационная технология блокчейн
DER	Distributed energy resource Распределенный энергетический ресурс
DERMS	Distributed energy resource management system Система управления распределенными энергетическими ресурсами
DSR	Demand-side response Действия по управлению спросом на электроэнергию на стороне потребителя
EBITDA	Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization Доходы за вычетом процентов, налогов и амортизации
ENERGYNET	ЭнерджиНЕТ Направление НТИ по инновационному развитию интеллектуальной электроэнергетики в России
IAEA	International Atomic Energy Agency Международное энергетическое агентство по атомной энергии
IEA	International Energy Agency Международное энергетическое агентство
IEC	International Electrotechnical Commission Международная электротехническая комиссия
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers Институт инженеров электротехники и электроники
IES	Institute for Environment and Sustainability Институт окружающей среды и устойчивости
IRENA	International Renewable Energy Agency Международное агентство по возобновляемой энергии
IoE	Internet of Energy Интернет энергии
IoS	Internet of Service Интернет услуг
IoT	Internet of Things Интернет вещей

ISO	International Organization for Standardization Международная организация по стандартизации
IT	Информационные технологии
M2M	Machine to machine От машины к машине (межмашинное взаимодействие)
NIST	United States National Institute for Standards and Technology Американский Национальный институт стандартизации и технологии
P2P	Peer-to-peer Равный равному: одноранговая сеть
SIGRE	Conference Internationale des Grandes Reseaux Electriques Международный совет по большим системам высокого напряжения
Smart building	Концепция «умное здание»
Smart city	Концепция «умный город»
Smart grid	Концепция «умная энергосистема»
VPP	Virtual Power Plant Виртуальная электростанция
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ВЭС	Ветровая электростанция
ГОЭЛРО	Государственный план электрификации России
ЕЭС	Единая энергетическая система России
ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
ИЭС	Интеллектуальная энергетическая система
ИЭСР	Интеллектуальная энергетическая система России
НТИ	Национальная технологическая инициатива
НТП	Научно-технический прогресс
Просьюмер	Потребитель, имеющий генерирующие мощности для производства энергии
РГ	Распределенная генерация
РРЭ	Розничный рынок электроэнергии
СЭС	Солнечная электростанция
СИПР	схема и программа развития электроэнергетики
ТП	Технологическая платформа
ТЭК	Топливно-энергетический комплекс

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные вызовы устойчивому развитию мирового сообщества в области экологии и глубокой трансформации мировой экономики, переход к новому технологическому базису обуславливают значительные изменения в электроэнергетике: энергетический переход к низкоуглеродным решениям, создание интеллектуальных электроэнергетических систем с активными потребителями, цифровыми технологиями и разнообразными инновационными решениями, в том числе коммуникативными и интеллектуальными, в условиях новой информационной среды.

В мире, где коммуникации стали носить глобальный характер, уровень взаимопроникновения различных систем друг в друга становится все более глубоким и очевидным, управление ими становится мультиагентным и более сложным. Развитие информационных технологий позволяет применять дистанционные способы управления как техническими средствами, так и человеческими ресурсами. Важно отметить также тенденцию масштабного развития информационной инфраструктуры и готовность общества принимать эти изменения. Различные сферы деятельности человека взаимодополняют друг друга, обеспечивая условия для ускорения протекания процессов внутри системы, объединения и совершенствования систем.

Эти тенденции особенно остро касаются высокотехнологичных и автоматизированных отраслей и межотраслевых комплексов экономики, таких как топливно-энергетический комплекс, энергомашиностроение, нефтехимия, связь, транспорт, городское хозяйство и другие. Особую роль в данной ситуации играет человеческий фактор: не только управление человеческим капиталом, но и своевременное его пополнение за счет процессов мотивации, обучения, актуализации и повышения его мобильности позволяют реагировать на динамичные изменения информационного мира.

В монографии проведен анализ наиболее существенных изменений, которые происходят в современном мире в условиях трансформации электроэнергетики, рассмотрены основные тренды, определяющие переход к интеллектуальным электроэнергетическим системам с участием потребителей, возникающие модели и механизмы взаимодействия экономических агентов и практики управления. Трансформация электроэнергетики в настоящее время идет по нескольким направлениям, среди которых можно выделить три базовые: цифровизация, децентрализация, декарбонизация.

Глава 1 рассматривает направления трансформации, включая глобальные тренды и ключевые направления развития электроэнергетики, модели, механизмы и стимулы развития интеллектуальных энергосистем. Развитие российской электроэнергетики идет в русле общемировых тенденций, но в то же время существует множество отмеченных в главе 1 особенностей и проблем развития.

Глава 2 посвящена вопросам структурной трансформации электроэнергетики: состав участников энергосистем, форматов и механизмов взаимодействия и координации экономических агентов в цепочках создания стоимости и в интеллектуальных энергосистемах, вопросы изменения моделей регулирования. Данные вопросы рассмотрены с учетом технологических и институциональных изменений, возникающих при трансформации электроэнергетики, в том числе активном участии потребителей.

В главе 3 рассмотрены рынки в электроэнергетике и модели их развития, включая влияние активных потребителей на розничные рынки на примере нескольких стран. Выполнен сравнительный анализ данных моделей розничных рынков и изучены детерминанты потребительского поведения.

Глава 4 анализирует современные практики управления электроэнергетическими компаниями: управление активами в процессе цифровизации электроэнергетики, бизнес-модели компаний в рамках трансформационных преобразований в отрасли, инновационные экосистемы в электроэнергетике. Рассмотрены основные зарубежные тенденции и особенности их развития в российской электроэнергетике.

Таким образом, работа охватывает актуальные мировые тенденции развития электроэнергетики, включая трансформацию и создание интеллектуальных энергосистем с участием потребителей, развитие различных инновационных направлений, возникновение новых форматов взаимодействия экономических агентов, новых стратегий и бизнес-моделей энергокомпаний как в мире, так и в России.

Целью работы в широком смысле можно назвать обобщение и систематизацию знаний о трансформационных процессах в электроэнергетике в условиях энергетического перехода и создания интеллектуальных энергосистем, а также качественную оценку возникающих эффектов в энергетике, экономике и обществе. Задачи, решаемые в работе, раскрывают суть процесса преобразования энергосистемы и транслируют предлагаемые идеи на современное состояние энергетики в международном и российском разрезе. В монографии использованы результаты исследований авторов, полученные в рамках программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [1, 2, 3, 4, 66].

Глава 1. Трансформация энергетики: ключевые тренды

1.1. Глобальные тренды развития электроэнергетики

Последние годы мировое сообщество и глобальная экономика находятся в процессе трансформации и изменений, которые вызваны следующей системой факторов [5]:

− изменение климата и усиливающиеся экологические и здравоохранительные проблемы в условиях роста загрязнения окружающей среды;

− переход на новый технологический уклад и появление множества прорывных технологий, в том числе на базе цифровых и интернет-решений, искусственного интеллекта, новых материалов;

− структурные изменения в мировой торговле, производстве, рынках в условиях быстрого роста развивающихся экономик;

− быстрый рост урбанизации (преимущественно в развивающихся странах).

Энергетика является одним из основных направлений, где одновременно происходит развитие новых технологий, реорганизация энергосистем и рынков, изменение предпочтений и повышение требований потребителей и их активизация в управлении развитием энергетики. С другой стороны, требования обеспечения глобального устойчивого развития, предусматривающие в рамках энергетики решение задач энергетической эффективности и независимости, экологичности и доступности энергии, предопределили начало энергетического перехода (далее – энергопереход) к низкоуглеродной энергетике.

В настоящее время трансформирующаяся мировая энергетика находится в области неопределенности и разнонаправленных изменений с множеством точек бифуркации в области технологических, институциональных, регуляторных и политических решений, а также скорости и направлений изменения климата. В области электроэнергетики выделяется три базовых тренда, которые наиболее значительно влияют на ее развитие и трансформацию и при всех сценариях:

− дальнейшая электрификация (переход крупных секторов экономики, например, транспорта и отопления, на использование электрической энергии), во многих странах сопровождается развитие низкоуглеводной энергетики, потому часто это направление называется декарбонизация;

− децентрализация;

− цифровизация (как самих элементов электрической сети, так и стороны потребления).

Указанные выше тренды часто обозначают 3D: Decarbonization, Decentralization, Digitalization [6]. Кризис, возникший в первой половине 2020 г. из-за коронавируса, существенно усилил тренды 3D в мировой эко-

номике и энергопереход, особенно на европейских энергорынках [7]. 3D тренды взаимосвязаны и создают механизм энергоперехода к низкоуглеродной энергетике и интеллектуальной электроэнергетической системе с активным участием потребителей [6, 8]: дальнейшая электрификация и декарбонизация снижают загрязнение окружающей среды; децентрализация стимулирует развитие активных стратегий потребителей и распределенной энергетики и меняет систему управления в энергосистеме; цифровизация усиливает оба названных тренда и создает новое информационное поле для деятельности энергосистем и управления ими.

Процессы изменений, вызванные 3D трендами, в электроэнергетике идут взаимосвязано с развитием общества и экономики, регуляторных и политических решений, а также внешней средой, что формирует динамичный и сложный общий трансформационный процесс. Изменения затрагивают как реальный сектор, так и бюджетно-финансовые системы, государственное управление и местное самоуправление. Меняются условия и экономические модели на макроотраслевом и микроуровнях, и все это отражается на бизнес-моделях экономических агентов, их предпочтениях и ценностях (рис. 1.1). Дополнительно следует отметить важную роль тренда на интеграцию в энергетике: активных потребителей и просьюмеров, технологий мультигенерации разных видов энергии, соединения с сопредельными энергосистемами и т. д.

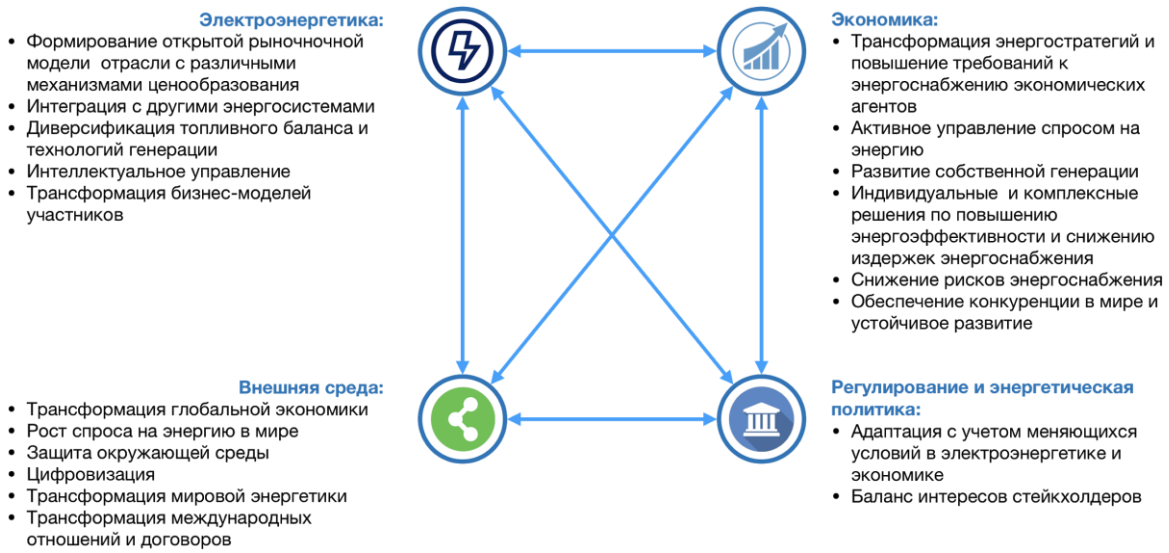

Рис. 1.1. Механизм и направления изменений в ходе трансформации электроэнергетики (заимствовано из [2])

Трансформация электроэнергетики и создание интеллектуальных энергосистем (далее – ИЭС) является сложным процессом, в котором можно выделить несколько трендов (рис. 1.2, табл. 1.1), каждый из которых проходит несколько стадий до достижения зрелости [9]. В этих трендах также проявляются в прямом или смешанном виде тренды 3D.

Рис. 1.2. Тренды 3D и также интеграция и их взаимодействие для развития ИЭС и трансформации экономики (разработано авторами с использованием [6])

Процесс развития интеллектуальной энергетики стал заметным в конце 2000-х гг., к настоящему моменту ведущие страны уже прошли начальную стадию и решают задачи зрелого развития. На стадии зрелого развития интеллектуальной энергетики синтезируются все основные тренды и происходит их дальнейшая адаптация к внешним и внутренним вызовам, проверка на устойчивость, живучесть, эффективность энергосистемы.

Энергопереход и создание нового технологического базиса займут продолжительное время, которое может составить от одного до нескольких десятилетий, для каждой страны он будет своим. Технологический базис имеет фундаментальный характер, и его трансформация в определенный момент замедлится, а адаптация к изменениям других систем продолжится, что будет стимулировать дальнейшее развитие экономических моделей и стратегий на всех уровнях, тестировать их в условиях кризисов, нестабильности внешней среды. Это означает, что формируемые в настоящее время бизнес-модели и стратегии экономических агентов будут проходить еще несколько фаз адаптации, связанных с модернизацией не только энергетики, но и других отраслей и социально-экономической модели в целом.

В настоящее время на первый план выходит цифровизация и цифровая трансформация отрасли.

Цифровая трансформация электроэнергетики – это изменение и развитие совокупности производственных, экономических отношений в отрасли на основе цифровых подходов и средств на основании анализа больших данных. Цифровая трансформация электроэнергетики – это изме-

нение и развитие совокупности производственных, экономических отношений в отрасли на основе цифровых подходов и средств на основании анализа больших данных, среди основных направлений которой:

– создание единого информационного поля, включая единую концептуальную информационную модель всей энергосистемы; единую метамодель, как язык взаимодействия; единые регистры объектов; единую систему идентификации; набор единых задач ориентированных классификаторов и справочников;

– создание единой распределенной технологической среды взаимодействия, обеспечивающей прозрачность и управляемость объектов электроэнергетики, построенной по сетецентрическому принципу с распределенным хранением данных, в основе которой – цифровая сеть;

– создание и внедрение единой доверенной отраслевой цифровой платформы, используемой субъектами электроэнергетики для передачи технологических данных в реальном режиме времени и обеспечение информационной безопасности;

– формирование новой архитектуры электроэнергетики – Internet of Energy (Интернета энергии) – экосистемы производителей и потребителей энергии, которые беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру и обмениваются энергией, в основе которой – конечные устройства потребителей с управляемым энергопотреблением, а также распределенная генерация и системы хранения энергии, находящиеся на стороне потребителей и/или в распределительных сетях низкого и среднего напряжения в непосредственной близости от потребителей;

– трансформация существующих моделей управления для максимизации положительных эффектов за счет использования возможностей цифровых технологий, ускорения обмена данными и повышения прозрачности и достоверности информации, устранение территориальных дисбалансов производства и потребления. Создание новых бизнес-моделей, сервисов и рынков с опорой на возможности цифровой экономики, потенциал которой открывается за счет пронизывающих коммуникаций, межмашинных взаимодействий, цифрового моделирования;

– внедрение риск-ориентированного управления ЕЭС, управление жизненным циклом активов: дистанционное управление или прогнозирование в режиме реального времени за счет цифровых и технологических решений; техническое обслуживание для продления жизненного цикла или операционной эффективности активов генерации, передачи или распределения;

– внедрение новых цифровых технологий и платформенных решений, выстраивание взаимодействий на их основе, в том числе и клиентских; комплексное обслуживание клиентов: инновационные продукты и услуги с цифровыми технологиями, связанные с производством энергии и управлением энергопотреблением; клиентские сервисы высокого уровня.

Таблица 1.1

Основные процессы в трансформации электроэнергетики в 1990–2030 гг. и их последовательные фазы и тренды 3D

	Либерализация электроэнергетики Тренд на децентрализацию	Инновационные ниши (ВИЭ, электромобили, накопители, водородная энергетика, микрогенерация и т. д.). Тренды на декарбонизацию, децентрализацию и цифровизацию	Развитие интеллектуальной энергетики. Тренд на цифровизацию
стадия 1	Внедрение целевой модели рынка и создание правил игры.	Создание новых эффективных технологий и доведение их до уровня коммерциализации	Автоматизированная сеть (система): эксперименты и концепции развития smart grid, smart building, smart city
стадия 2	Совершенствование модели рынка и правил игры. Создание модели долгосрочного развития.	Создание стимулов для развития инновационных ниш. Проникновение из инновационных ниш в энергосистемы и интеграция	Интеллектуальная сеть и активный потребитель: системное развитие технологий и модернизация энергосистемы до ИЭС
стадия 3	Совершенствование модели долгосрочного развития. Эволюционное развитие рыночных механизмов и институтов в электроэнергетике	Углубление интеграции распределенной генерации и ВИЭ и энергосистемы. Модернизация модели рынка, бизнес-моделей и стратегий участников, управления энергосистемой, регулирования и правил игры в электроэнергетике и экономике. Согласование долгосрочных тенденций развития инновационного сектора с моделью долгосрочного развития энергосистемы и экономики	Интеллектуальная энергетическая система: развитие интеллектуальной энергетики. Создание модели долгосрочного устойчивого развития ИЭС и ее адаптация. Трансформация и адаптация к внешним и внутренним вызовам

** адаптировано из [9]*

Для реализации цифровой трансформации принципиально важна реализация новой технологической парадигмы в отрасли и обеспечение отечественными лидерскими инициативами [8]. Прежде всего к ним относятся:

− открытые модульные цифровые платформы для организации киберфизических систем и сред в электроэнергетике;

− интеллектуальные мультиагентные системы управления;

– системы хранения электроэнергии (от аккумуляторов для электромобилей и бытового сектора до систем хранения электроэнергии большой емкости, в т. ч. технологии хранения электроэнергии в водородном цикле);

– перспективная высоковольтная и высокочастотная силовая электроника;

– технологии Интернета вещей (цифровые датчики, сенсоры, актуаторы и средства коммуникации);

– цифровые финансовые технологии (блокчейн, смарт-контракты, децентрализованные автономные организации).

Цифровая трансформация электроэнергетики позволит получить следующие эффекты:

– повышение надежности и безопасности энергоснабжения за счет повышения наблюдаемости и управляемости энергетических объектов и систем, и оперативности получения информации; а также исключения за счет использования цифровых технологий риска вмешательства в технологические процессы поставщиков зарубежного оборудования и повышения информационной безопасности;

– снижение аварийности за счет внедрения риск-ориентированного подхода в управлении;

– повышение доступности услуг и создание новых возможностей для потребителей за счет цифровых платформ и сервисов;

– повышение энергетической безопасности регионов страны путем создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечения нового уровня качества жизни населения благодаря новым стандартам обслуживания;

– снижение капиталоемкости отрасли, в том числе за счет оптимизации территориальных балансов производства и потребления путем цифровизации управления розничных рынков, которые могут гибко реагировать в рамках существующих процедур (СИПР) на динамику изменения потребления;

– повышение операционной эффективности компаний отрасли, в том числе за счет снижения издержек и повышения прозрачности и управляемости объектами энергетики, снижения бремени неэффективных расходов участников рынка;

– формирование новой отрасли промышленности для интернета энергии;

– повышение технологической безопасности за счет локализации производства оборудования и преимущественного использования отечественного оборудования в электроэнергетике и смежных отраслях;

– повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов без повышения затрат на поддержание технического состояния.

На развитие электроэнергетики действует большое разнообразие факторов, и в ней наблюдается множество трендов, трансформирующих

традиционные энергосистемы и электроэнергетическую отрасль. Как уже отмечено, действуют как внешние, так и внутренние факторы. Можно выделить несколько ключевых направлений развития в отрасли.

Энергоэффективность и энергосбережение

Одним из общеэкономических и социальных трендов, обуславливающих вектор развития мировой электроэнергетики и энергетики в целом, является развитие культуры энергосбережения (и ресурсосбережения в целом). Эта тенденция обусловлена рядом взаимосвязанных факторов [10]:

– реализация программ ресурсосбережения различных уровней (национальных, региональных, отраслевых);

– использование экономических стимулов для практической реализации подобных действий;

– общая автоматизация производства, позволяющая в том числе повысить его эффективность.

Кроме того, в экономической политике многих стран присутствует задача создания условий для устойчивого развития, в рамках которой энергоэффективность и ресурсосбережение являются важными инструментами и целями. По оценке Международного энергетического агентства (МЭА) [11], благодаря повышению энергоэффективности в 2016 г. странам-членам МЭА удалось избежать затрат в 50 млрд долл., связанных с импортом энергии.

Ярким примером, доказывающим важность повышения эффективности системы, является Япония. По расчетам МЭА, в случае, если государством не были бы предприняты подобные меры, импорт нефти и газа был бы выше на 20 и 23 % соответственно. Мероприятия по энергоэффективности принесли ощутимый эффект в странах ЕС: в Германии и Великобритании в 2015 г. удалось сократить объемы импорта природного газа в объеме, эквивалентном 30 % общего импорта газа из России. Повышение эффективности системы помимо прочего позволяет достичь краткосрочной безопасности через сглаживание пиков спроса на газ: по расчетам МЭА, без применения мер энергоэффективности дневной объем потребления природного газа Великобританией и Францией был бы на 240 млн куб. м. выше.

Повышение эффективности энергетической системы позволяет снизить расходы домохозяйств. Меры, внедренные за период 2000–2016 гг. позволили домохозяйствам ЕС в 2016 г. избежать дополнительных расходов на электрическую энергию в размере 300 млрд долл. К примеру, в Германии, Франции и Великобритании средние расходы домохозяйства на электрическую энергию с учетом внедренных мер были в среднем на 400 долл. ниже по сравнению со сценарием, в котором развитие системы осуществлялось по экстенсивному пути – рис. 1.3 [11].

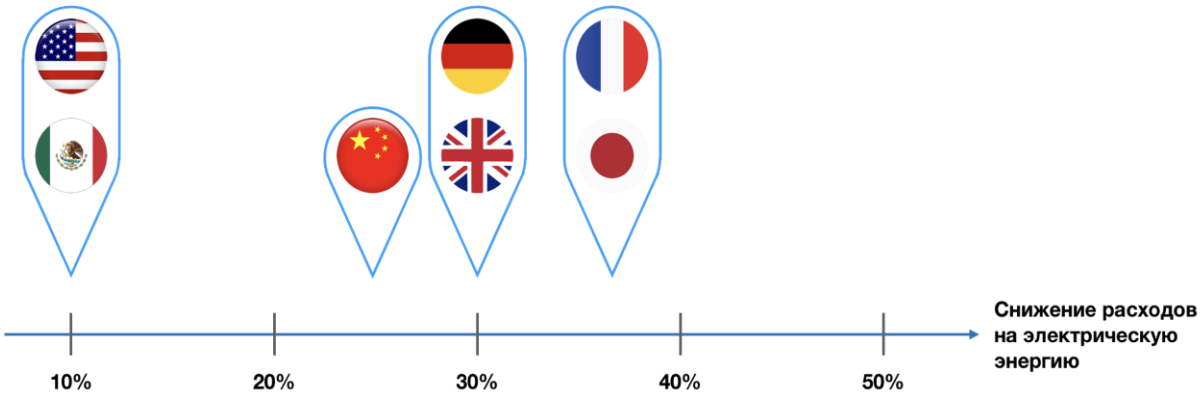

Рис. 1.3. Снижение расходов домохозяйств на электрическую энергию вследствие внедрения мер по повышению эффективности энергетической системы отдельных стран (адаптировано из [11])

Наибольшего снижения удалось добиться Франции и Японии, примерно на 30 % снизились расходы домохозяйств в Германии и Великобритании, на 25 % – в Китае. Снижение расходов на электроэнергию у домохозяйств США и Мексики составили около 10 %.

Интегрированные системы

Важной особенностью в настоящее время является интенсивный характер урабанизационных процессов в мире, особенно в развивающихся странах, поскольку высокая концентрация потребителей создает предпосылки для развития эффективных интегрированных решений: интегрированных энергетических систем (integrated systems), интеллектуальных электроэнергетических систем (smart grids) и умных городов (smart cities) [1, 12, 13]. Интегрированные системы развиваются на разных уровнях, начиная от конечного потребителя (умный дом, smart grids предприятия или городского района, поселения и т. д.) до национального (системы транспорта энергоносителей), а также могут охватывать целые регионы стран. Интегрированные энергосистемы создают решения, которые не только повышают эффективность производства и использования, но и объединяют технологии производства, транспорта, управления для разных видов энергии (электричества, тепла–холода), что объединяет отрасли традиционной энергетики. Такие технологии применялись и ранее в энергетике (например, технологии когенерации), но в основном они применялись в секторе производства или у крупных потребителей (промышленные предприятия, крупные потребители разных видов энергии). В настоящее время область применения интегрированных решений значительно расширяется, а их разнообразие увеличивается.

Возобновляемые источники энергии

Интерес к ВИЭ в мировой энергетике прослеживался на протяжении всего XX века, и наибольшее распространение получили гидростанции,

преимущественно относящиеся к сектору крупной, централизованной энергетики. Стоимость других технологий, в том числе на солнечной и ветряной энергии, долго оставалась высокой, но к 2010-м гг. она заметно снизилась, а в последнее десятилетие с помощью финансовых и прочих стимулов, которые активно применяли регуляторы во многих странах, она стала привлекательной для коммерческого использования в энергетическом бизнесе, а также для развития сектора собственной генерации потребителей. Дополнительным стимулом для развития этого направления является рост доли местного источника энергии (энергия солнца, ветра, гидропотенциала, тепла земли, отходов производства и т. п.) в топливном балансе, что повышает энергонезависимость и способствует снижению рисков энергоснабжения.

Данные IRENA показывают, что с 2010 г. полная приведенная стоимость электроэнергии из таких источников, как биоэнергия, геотермальная энергия, гидроэнергия, ВЭС находилась в тех же пределах, что и стоимость электрической энергии, полученной из традиционных ископаемых источников. С 2014 г. до уровня ископаемых источников упала и стоимость электроэнергии, генерируемой солнечными электрическими станциями (далее – СЭС) (рис. 1.4).

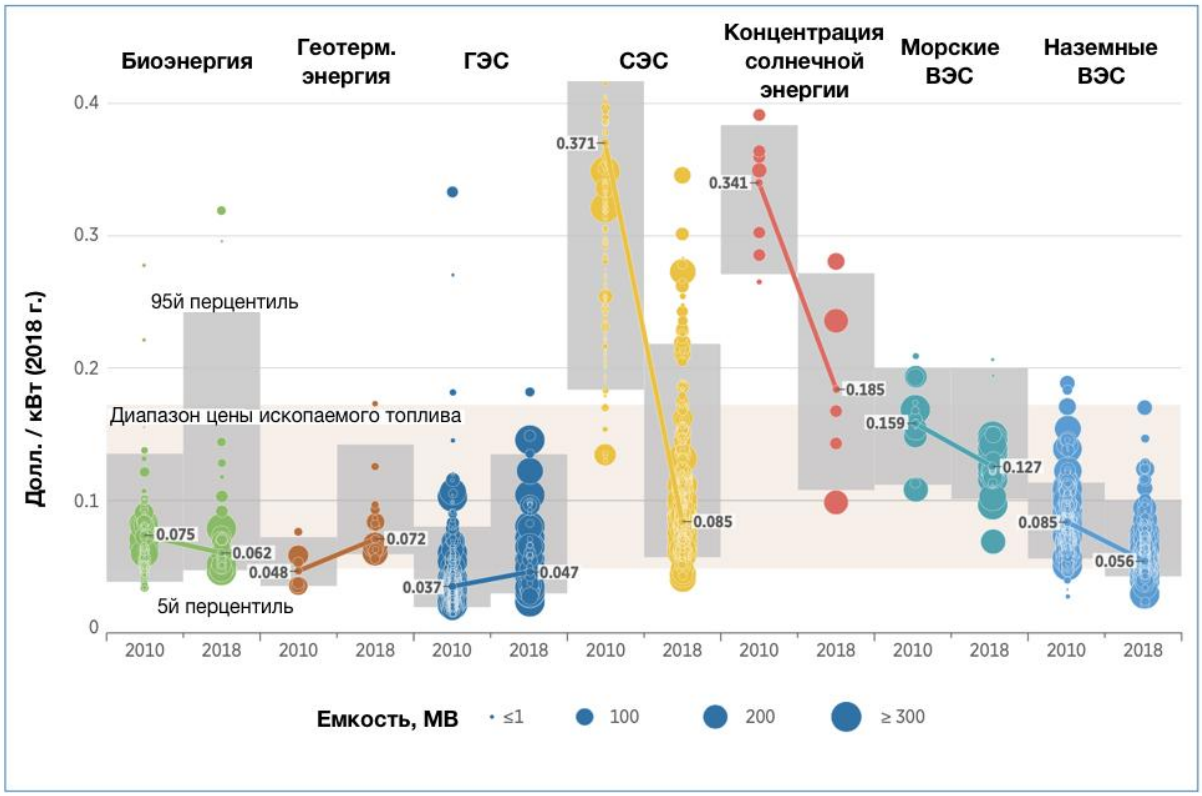

Рис. 1.4. Среднемировой уровень полной приведенной стоимости электроэнергии из различных возобновляемых источников (заимствовано из [14])

По расчетам REN 21 [15], общемировая генерация, основанная на биоэнергии, за период 2008–2018 гг. выросла более чем в 2 раза: с 250 до 581 ТВт/ч. Основной вклад составили установки, расположенные в 28 наиболее развитых стран ЕС (рис. 1.5).

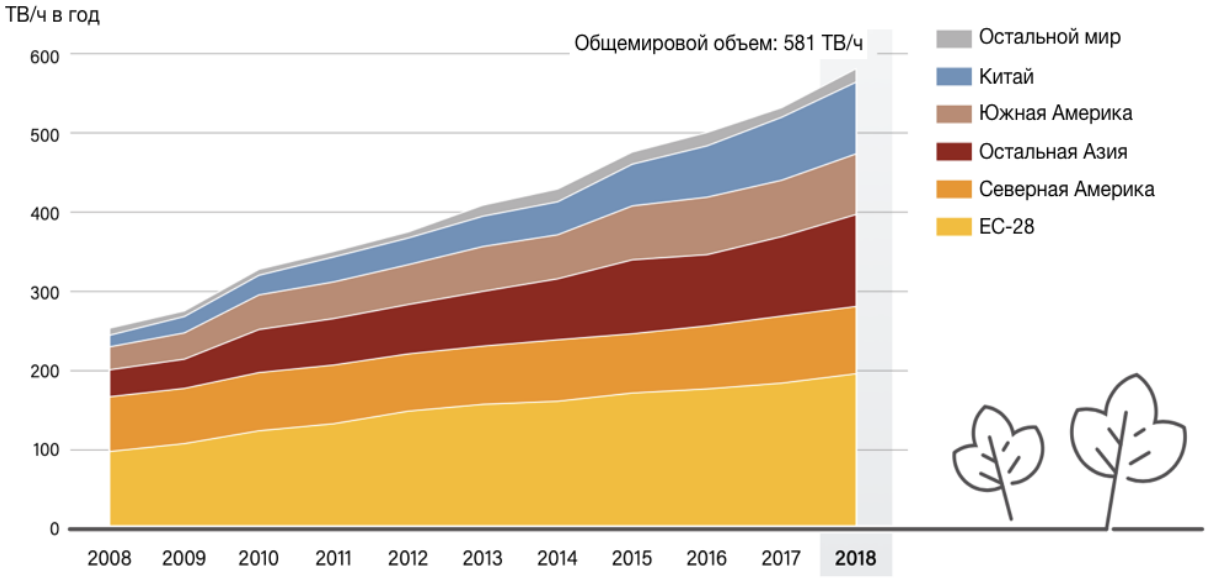

Рис. 1.5. Динамика общемировой генерации, основанной на биоэнергии
(заимствовано из [15])

Из общего объема на электроэнергетический сектор приходится 2,1 % – это небольшая доля, тем не менее биомасса зачастую используется для отопления зданий и сооружений и может составлять конкуренцию электроэнергии. Аналогичный рост спроса в сегменте отопления наблюдается на геотермальную энергию. В условиях отказа от сжигания угля этот источник становится привлекательной заменой.

В 2018 г. на ГЭС приходилось 4200 ТВт/ч генерирующих мощностей (наибольший удельный вес в мировой энергетической корзине ВИЭ [16]). На ГЭС приходится 15,9 % общемирового производства электрической энергии [16]. Рынок гидроэнергии продолжает расти существенными темпами – среднегодовое увеличение установленных мощностей составляет 20 ГВт. В общемировом балансе на Российскую Федерацию приходится около 4 % генерирующих мощностей. Лидером является Китай – как по общему объему установленных мощностей (28 % от общемировых), так и по темпам введения новых (+7 % в 2018 г.) [15]. В целом с начала 2000-х гг. объем установленных мощностей ГЭС увеличился с 750 до более чем 1250 ГВт [16].

Отличительной особенностью развития ГЭС в мире стало устаревание генерирующих установок – этот тип давно применяется многими странами мира, и многие из них претерпели существенный износ. Одновременно широкое распространение получили проекты интегрированной

энергетики, где достигается синергетический эффект при использовании нескольких типов генерирующих установок – ГЭС + СЭС + ВЭС. В связи с этим существенная часть новых проектов носит характер обновления, а не замены устаревшего оборудования [15].

Морская энергия остается наименее распространенным источником энергии, несмотря на ее существенный потенциал. Основная часть реализуемых проектов сфокусирована на демонстрации выгод от этого источника и представляет собой небольшие проекты установленной мощности менее 1 МВт. В 2018 г. объем введенных в эксплуатацию генерирующих мощностей составил всего 2 МВт, а общая установленная мощность – 532 МВт. Основная часть проектов реализуется в Европе у берегов Шотландии [15]. Общемировой прирост генерирующих мощностей на солнечных фотоэлементах составлял в последние годы 70–100 ГВт и выше. Что более важно, впервые удалось преодолеть порог в 100 МВт введения новых мощностей. СЭС на фотоэлементах стали наиболее быстро растущим сегментом, а рынки многих стран преодолели рубеж в ГВт (рис. 1.6).

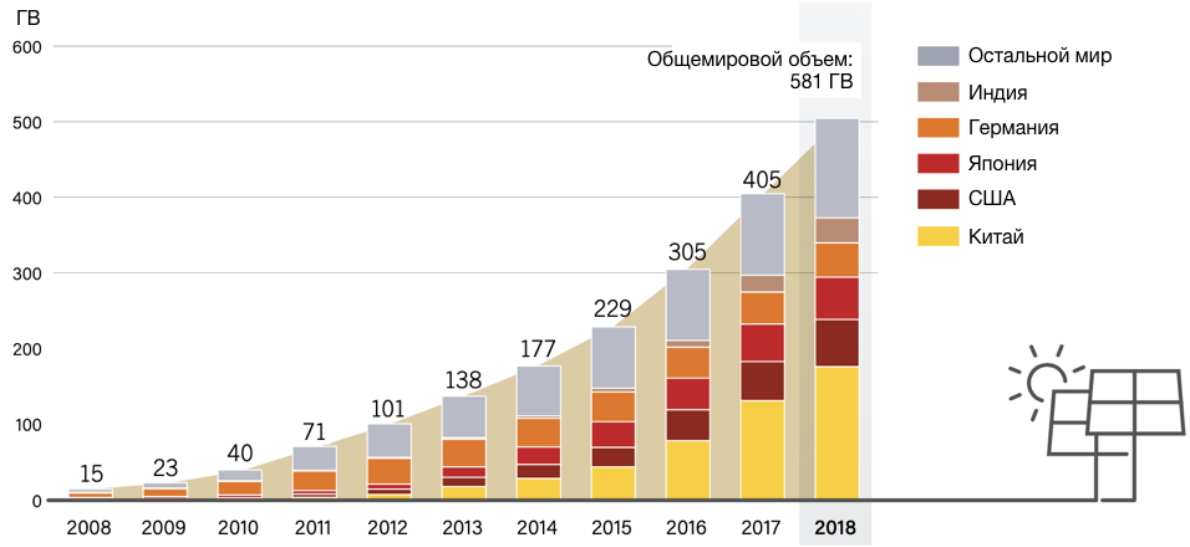

Рис. 1.6. Динамика установленных мощностей СЭС в мире (заимствовано из [15])

Увеличение спроса на СЭС обуславливается тем фактом, что генерирующие установки этого вида становятся наиболее конкурентоспособным источником электрической энергии на большинстве рынков – как для частного, так и для коммерческого использования (вплоть до установок большой мощности). Но до сих пор существуют определенные барьеры для развития СЭС (регуляторная нестабильность, финансовые трудности, сложность интеграции источников в энергосистемы). Тем не менее, солнечные генерирующие установки уже играют важную роль в энергобалансе многих стран. В 2018 г. на СЭС приходилось около 2,4 % общемировой генерации электроэнергии.

Мировой рынок развития ВЭС быстро рос в последнее десятилетие. Это привело к тому, что общемировой объем установленной мощности составил 591 ГВт (568,4 из которых приходятся на наземные установки) – рис. 1.7.

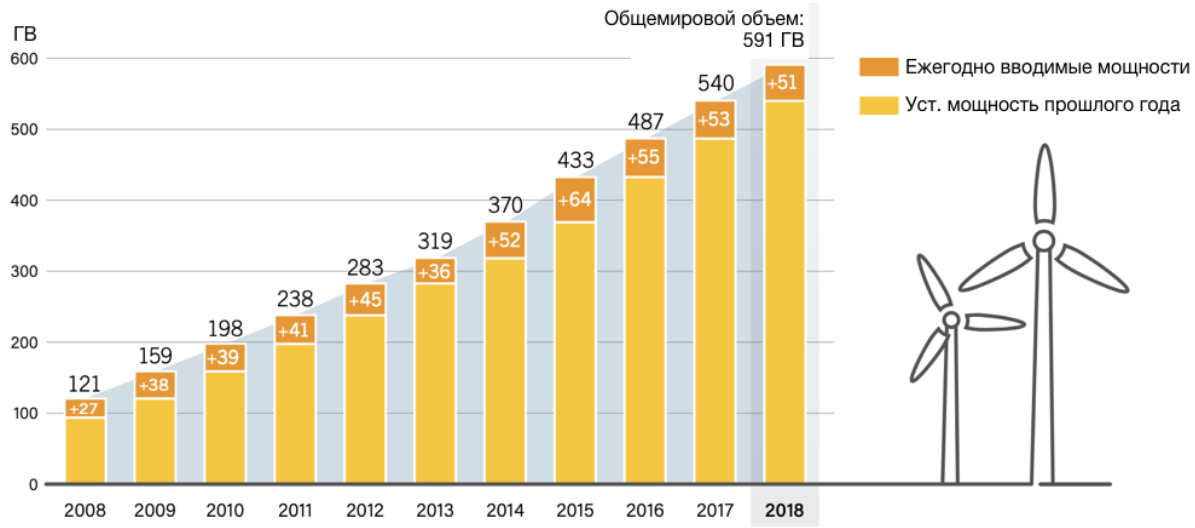

Рис. 1.7. Динамика общемировой установленной мощности ВЭС (заимствовано из [15])

Стремительно снижающаяся стоимость кВт/ч электроэнергии (как от наземных, так и береговых ВЭС) привела к тому, что этот тип генерации стал наиболее дешевым в большом количестве стран. Это и приводит к масштабному распространению подобных установок [15].

К 2020 г. во многих случаях наземные ветровые и солнечные фотоэлектрические станции стали выгодными по сравнению и ископаемыми источниками без учета финансовой поддержки. Прогнозируется, что уже в ближайшем будущем стоимость электроэнергии, получаемой из солнечных установок, будет самой низкой из существующих [17] (рис. 1.8).

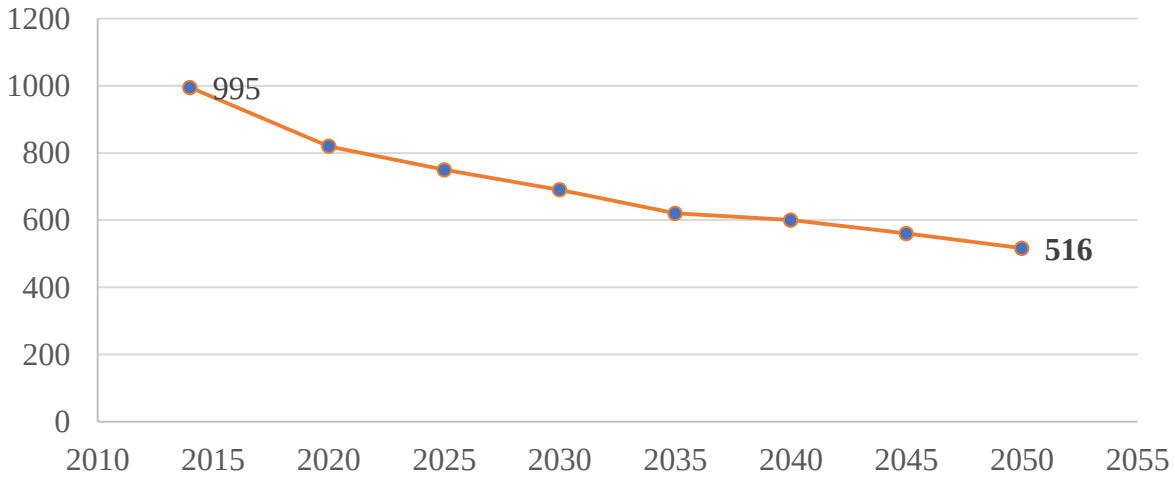

Рис. 1.8. Среднемировая стоимость 1 кВт,
генерируемого на солнечных установках (евро)
(стоимость включает полные капитальные затраты, включая строительство и монтаж)

По прогнозам IRENA, на горизонте после 2020 г. снижение стоимости электрической энергии, генерируемой за счет ВИЭ, продолжится. В период 2020–2022 гг. новые нетрадиционные установки составят существенную конкуренцию традиционным. В некоторых районах (с высоким солнечным и ветропотенциалом) они почти полностью смогут заместить традиционные генерирующие установки.

По прогнозам IRENA, к 2050 г. благодаря повышению привлекательности электрификация различных сегментов приведет к росту спроса на электрическую энергию как минимум на 50 % [14]. По оценкам МЭА, к 2040 г. на ВИЭ будет приходиться почти треть всего объема спроса на энергоносители (рис. 1.9). Структура потребления энергии претерпит существенные изменения за счет роста доли ВИЭ.

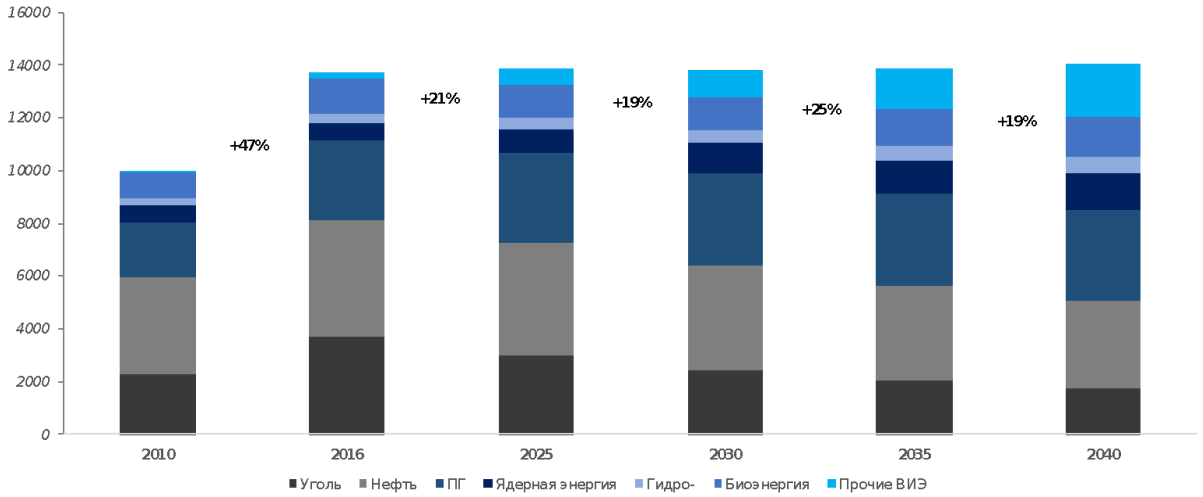

Рис. 1.9. Динамика мирового спроса на энергоносители (заимствовано из [18])

Следует, однако, отметить, что долгосрочные прогнозы развития ВИЭ, в том числе выполняемые IEA, в настоящее время часто оказываются неточными, в основном заниженными. Также в настоящее время существуют проблемы с долгосрочными прогнозами развития энергетики в целом и мировой экономики, крупнейших экономик мира (США, ЕС, Китай). Высокий уровень неопределенности и возросшая волатильность в экономических и политических процессах в период глубокой трансформации глобального мира объективно усложняют задачи прогнозирования, но в то же время повышают значимость стратегического планирования на разных уровнях.

Происходящее в последние десятилетия глобальное изменение климата – помимо наблюдавшейся массовой миграций населения, изменения географии ведения сельского хозяйства, а также усиления природных катаклизмов (штормы, цунами, землетрясения и проч.) – способствует усилению внимания к выбросам различных парниковых газов (CO_2 в особенности) [19, 20]. Следует отметить, что в развитии низкоуглеродной энергетики может быть много направлений, в том числе связанных не только с ВИЭ, но и, например, с атомной энергетикой. Но в настоящее время мно-

гие международные климатические решения направлены в сторону возобновляемых источников энергии, то есть «зеленого» развития – распространения низкоуглеродных технологий: солнечной и ветрогенерации, водородной энергетики и т. д. Ключевую роль в этом процессе, как уже отмечалось, играют различные международные и национальные регуляторные институты [21], поскольку политика многих стран нацелена на продвижение инвестиций в устойчивую децентрализованную энергетику, более эффективное использование ресурсов, в том числе локальных и возобновляемых, развитие местных партнерств и кластеров [19, 22, 23, 24].

Яркими примерами подобной политики могут служить:

− программа развития ВИЭ в Италии «20-20-20» (сокращение выбросов парниковых газов на 20 % к уровню 1990 г., достижение 20 % доли ВИЭ в общем объеме энергопотребления и на 20 % сокращение потребление первичных источников энергии за счет повышения энергоэффективности к 2020 г.);

− прямые инвестиции со стороны правительства Мальты для установки генерирующих объектов на ВИЭ, а также энергоэффективного оборудования;

− планы правительства Шотландии перевести не менее 500 МВт генерации на ВИЭ к 2020 г. (на что выделяется 2,4 млрд фунтов);

− решение правительства Южной Кореи о строительстве 1 ГВт фотоэлектрической генерации (оценочная стоимость 1,7 трлн вон) до 2022 г. [25];

− стратегия компании Google использовать только чистую энергию для своей деятельности (офисы, дата-центры) в глобальном масштабе [26];

− стремительный рост ВИЭ в Китае, где только в 2017 г. введено свыше 50 ГВт мощностей солнечной генерации [27].

Цифровизация и информационно-коммуникационные технологии

Существенным фактором влияния на развитие мировой энергетики также является ИКТ (информационно-коммуникационные технологии). Это выражается в широкомасштабном распространении различных интеллектуальных активно-адаптивных систем, а также сетей для распределенного (и даже индивидуального – на уровне отдельных зданий и сооружений) энергоснабжения объектов [13, 19, 22, 28, 29, 30]:

− различные технологии «умных» и «пассивных» (работающих по принципу самообеспечения энергией) домов;

− технологии «умного» электро-, тепло- и хладоснабжения, накопители энергии;

− технологии автоматизации климатических и осветительных систем;

− интегрированные энергосистемы;

− электромобили;

− другие решения.

Повышение степени цифровизации систем контроля и управления энергосистемами главным образом способствует снижению стоимости электрической энергии и издержек, формированию резерва мощности у конечных потребителей [31, 32].

Цифровизация играет ключевую роль в снижении барьеров для потребителей, местных сообществ и небольших стартапов для участия в инновационных энергетических проектах и интеллектуальных энергосистемах: торговля электрической энергией через цифровые P2P платформы, участие в управлении спросом, удаленное управление энергопотреблением [33, 34]. Распространение технологий блокчейн в ближайшем будущем может привести к выведению процесса совершения транзакций из-под контроля центральных органов управления (центров финансовых расчетов) и подрыву традиционных бизнесов энергетических компаний.

Распространение технологий IoT вызывает структурную трансформацию энергетического сектора и приводит к оптимизации операций, позволяет повышать эффективность управления активами и вовлекать потребителей в процесс управления сектором [35].

В первую очередь это касается возможностей удаленного контроля и управления активами. Сенсоры, установленные на различных типах оборудовании, измеряют различные параметры состояния этого оборудования и позволяют оптимизировать расписание обслуживания. Превентивное обслуживание позволяет существенно повысить надежность функционирования системы, поддерживая оборудование в оптимальном состоянии. Технология цифровых двойников, подразумевающая создание цифровой модели существующего оборудования, позволяет создавать виртуальные сценарии поведения оборудования и экспериментировать со способами управления им – без риска снижения надежности системы. В дополнение к превентивным программам обслуживания эта технология включает удаленную поддержку.

Технологии IoT позволяют потребителям быть более информированными в отношении их энергопотребления. Подключенные к интернету интеллектуальные приборы учета собирают данные и отправляют их как потребителям, так и поставщикам электрической энергии. На основании этой информации потребители могут анализировать собственное потребление, снижая общие расходы на электроэнергию – либо путем замены наиболее энергоемких приборов, либо за счет смещения потребления вне часов пик, когда стоимость электрической энергии существенно ниже. Поставщики электрической энергии получают возможность предоставлять потребителям актуальные предложения, а также повышать эффективность управления системой.

IoT позволяет улучшать управление сетями. Установка сенсоров на подстанциях и вдоль сетей распределения позволяет собирать данные о реальном потреблении электрической энергии, что позволяет принимать

решения относительно контроля напряжения, переключения нагрузки, конфигурации сети и прочее. Более того, многие из этих решений могут быть автоматизированы. Данные об энергопотреблении могут также становиться основой для прогнозирования. Подобные данные могут стать решением вопросов нехватки мощности/неравномерности нагрузки на сеть/контроля напряжения и в конечном итоге помогать принимать более взвешенные решения в отношении развития сети [36]. Технологии blockchain позволяют осуществлять транзакции без централизованного контроля и широко применяются в энергетическом секторе (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Основные области применения технологий blockchain в энергетике

Проекты	**Сегмент**						
	Генерация	Передача	Распреде-ление	Торговля	Продажа	Учет	Другие сферы
B2C торговля/P2P системы							
Микро-сети	+	+	+		+	+	
Системы управления сетями	+	+	+			+	
Торговля на основании интеллектуальных контрактов				+			
Мобильность							
Управление и оплата зарядки							+
Управление зарядными станциями							+
Шеринг транспортных средств							+
Управление активами							
Сбор данных, их интеграция	+						
Другие области							
Оформление сертификатов (например, для использования ВИЭ)				+	+		
Оплата счетов				+	+		
Управление процессом смены поставщика			+		+	+	

** заимствовано из [37]*

Наиболее привлекательными сферами применения являются области, в которых одновременно присутствует несколько групп участников, которые совместно используют данные и которым необходимо подтверждение того, что записанные данные корректны и валидны.

На рис. 1.10 указаны некоторые blockchain-проекты, которые в настоящее время реализуются в энергетическом секторе. Основная часть проектов реализуется в Европе и Азии.

Выгоды от внедрения blockchain включают: снижение издержек, устранение дублирования данных, увеличение скорости транзакций, более высокую устойчивость системы. Основные свойства технологий blockchain

обусловлены его потенциалом предоставлять возможность для хранения записей с защитой от воровства. Он позволяет заменить центральных регуляторов децентрализованным процессом и «интеллектуальными контрактами», которые автоматически генерируются как реакция на определенные триггеры. Подобные способности blockchain выходят за рамки трансформации существующих процессов. Устранение потребности в посредниках открывает широкие возможности для новых бизнес-моделей, а спектр «интеллектуальных контрактов» позволяет технологии blockchain играть ключевую роль в автоматизации и Интернете вещей, существенно повышая энергоэффективность и улучшая ценообразование на управление спросом. Ожидается, что blockchain позволит сформировать более прямые взаимоотношения между производителями и потребителями электрической энергии, а также расширит возможности для участия в рынке небольших поставщиков и просьюмеров [37].

Хранение электроэнергии

Важной особенностью электроэнергетики долгое время была одновременность процессов производства и потребления, технологии аккумулирования и хранения больших объемов энергии в большинстве энергосистем играли незначительную роль. Это создавало значительные издержки, прежде всего в секторе генерации, способствовало формированию неравномерных графиков нагрузки энергосистемы и обычно обуславливало высокий уровень пиковых цен на электроэнергию. Технологическое развитие и улучшение материалов привело к повышению надежности, мощности и плотности современных систем хранения электроэнергии, а достигнутая экономия от масштаба приводит к снижению стоимости производства подобных систем (рис. 1.11, табл. 1.3).

На горизонте 5–10 ближайших лет ожидается широкое распространение технологий аккумулирования электрической энергии и их массовое коммерческое применение [39], а также развитие сопутствующей инфраструктуры (системы подзарядки, выдачи мощности и пр.). Существенное влияние будет оказывать повышение технико-экономических характеристик и снижение стоимости накопителей электрической энергии: электромеханических, электрохимических, термальных, гидро-. По оценке IRENA, к 2030 г. стоимость подобных установок (в долл. США за 1 кВт·ч) снизится в среднем на 60 % (табл. 1.3), а общая установленная мощность вырастет с 133 ГВт в 2017 г. примерно до 425 ГВт [22]. По данным Navigant Research [40], мировой рынок систем накопления электрической энергии, участвующих в сетевых и системных услугах, вырастет с 2 млрд долл. США в 2016 г. до 18 млрд долл. США в 2025 г.

В среднем стоимость подобных установок в ближайшие 10 лет снизится более чем на 50 %, что может составить существенную конкуренцию традиционным источникам энергии.

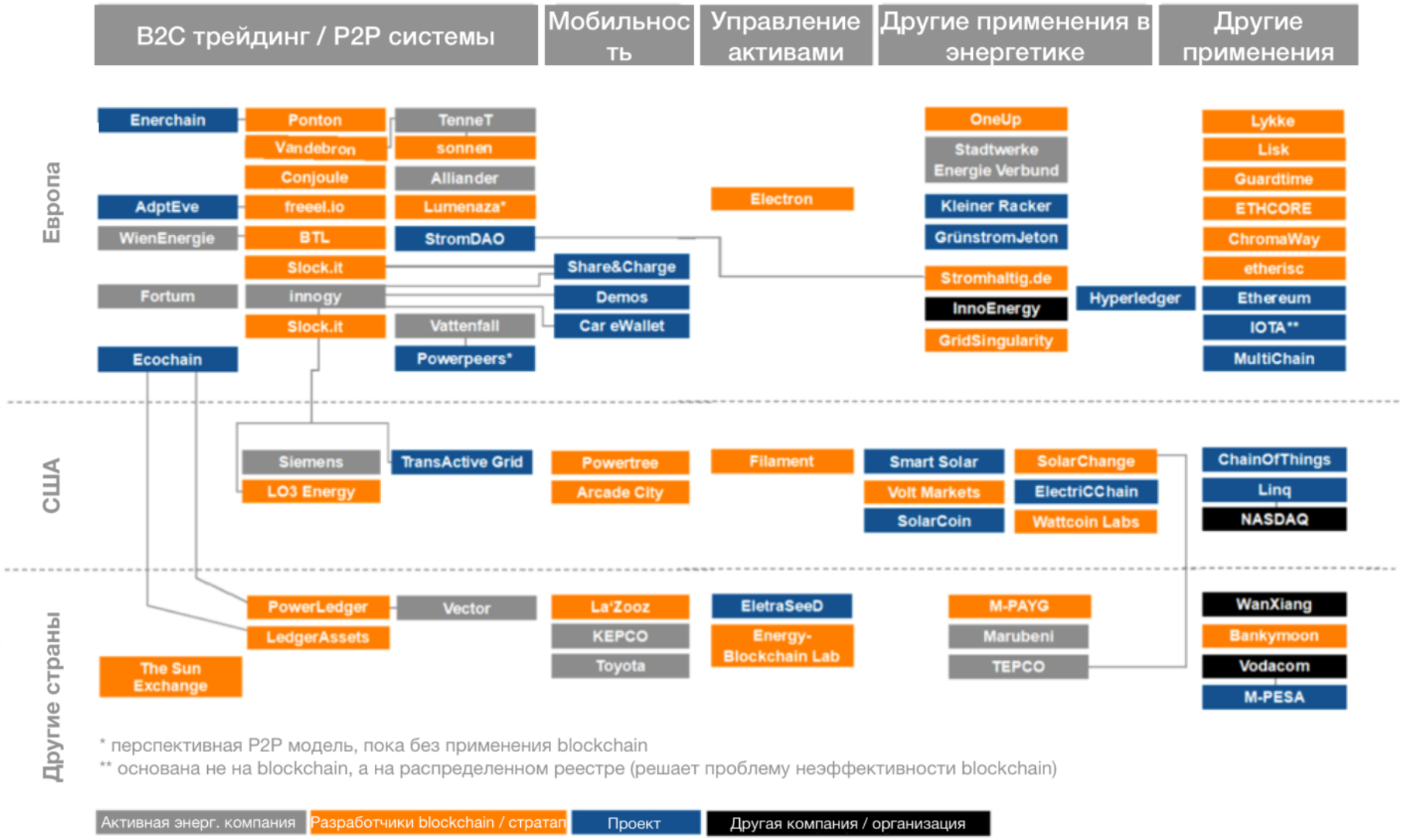

Рис. 1.10. Обзор основных проектов blockchain в энергетике [37]

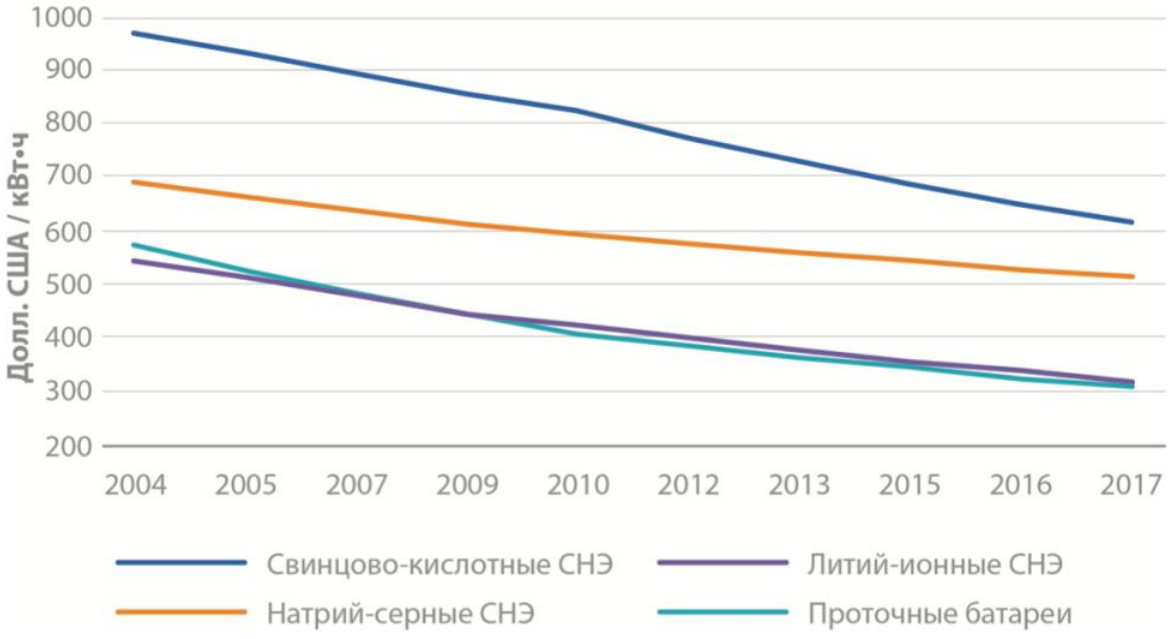

Рис. 1.11. Динамика удельной стоимости систем накопления электрической энергии (заимствовано из [38])

Таблица 1.3

Прогнозное снижение стоимости установок хранения электроэнергии на горизонте до 2030 г.

Группа	Тип установки	Прогнозируемое снижение стоимости установок
Свинцово-кислотная	Затопленная свинцово-кислотная	–50 %
	Свинцово-кислотная с клапаном	–50 %
Высокотемпературные	Натриевая сера	–56 %
	Натрия никель хлорид	–60 %
Проточные	Проточная батарея окислительно-восстановительного потенциала ванадия	–66 %
	Батарея потока брома цинка	–66 %
Литий-ионные	Никель-кобальт-алюминий	–59 %
	Никель марганец оксид кобальта/оксид лития-марганца	–60 %
	Фосфат лития-железа	–61 %
	Литий-титан	–54 %

* *составлено на основании [41]*

Подобные системы накопления энергии разрабатываются как для централизованного (резерв для национальной энергетической системы), так и распределенного (резерв для кластерной энергосистемы) и индивидуального (резерв для отдельного объекта) энергоснабжения.

Появление новых электрохимических источников (батареи химических аккумуляторов и электрохимические конденсаторы [42] тока с низкой себестоимостью, высокой емкостью и безопасностью) способствовало существенному повышению степени электрификации отдельных систем и существенному увеличению масштабов использования систем накопления электрической энергии. Наиболее ярким примером может служить развитие транспортной системы, где усовершенствования в производстве литий-ионных батарей позволили существенно увеличить их мощность и емкость, благодаря чему такая компания, как Tesla, смогла занять лидирующие позиции на рынке электромобилей [43].

Источниками подобного масштабного роста использования систем накопления стало [38]:

− снижение стоимости и повышение эффективности распределенной генерации в основе ВИЭ (эффективность и надежность которой в существенной степени зависит от наличия приемлемых технологий аккумулирования электрической энергии);

− развитие и широкое распространение электрического транспорта (в особенности частного);

− существенное снижение стоимости систем накопления электрической энергии;

− распространение и снижение стоимости систем преобразования постоянного тока в переменный и наоборот;

− развитие систем удаленного и автоматизированного управления объектами электрической сети;

− увеличение спроса на пиковые генерирующие и сетевые мощности (что в свою очередь приводит к росту стоимости мощности и общему снижению эффективности работы электросети).

Распространение различных систем накопления электрической энергии приводит к возможностям для построения принципиально новой архитектуры электроэнергетической системы. Появляется возможность управлять графиком работы генерирующих установок благодаря установке накопителей большой мощности в узловых точках сети. Это позволит сдвигать пики генерации и потребления, тем самым выравнивая график нагрузки и повышая общую эффективность работы системы. Более того, системы накопления, обладая высокой степенью мобильности, могут быть использованы вместо резервных генерирующих мощностей, тем самым снижая общую стоимость электрической энергии для конечных потребителей.

Электротранспорт

В ближайшие десятилетия, как ожидается, более широкое развитие получат различные виды электротранспорта, электромобили, самолеты и планеры на электротяге, электроавтобусы и т. д. [44]. Это благотворно отразится как на сокращении потреблении энергии в мире, так и на состоя-

нии окружающей среды. Важную роль для этого направления будет играть успех в развитии компактных средств накопления электроэнергии. Кроме того, для масштабного внедрения электротранспорта необходима новая инфраструктура, включая сети зарядных станций. Внедрения технологий искусственного интеллекта в сочетании с возможностями электропитания выводят транспортную отрасль на новый уровень технических возможностей, что повышает уровень безопасности для потребителей. В настоящее время лидерами в данном направлении являются Китай и США, многие развитые страны создают стимулы для электротранспорта.

Электротранспорт становится активным участником энергосистем в условиях интеллектуальных систем управления и активных стратегий потребителей. Помимо перечисленных выше эффектов это также может способствовать сглаживанию кривой нагрузки в энергосистеме и изменению структуры топливного баланса страны за счет роста доли электроэнергии и сокращения углеводородного моторного топлива.

Интеллектуальное управление сетями (в том числе с помощью искусственного интеллекта)

Распространение распределенных систем генерации приводит к необходимости соответствующего преобразования систем и механизмов управления электрической сетью, которая позволит управлять множеством источников генерации и спроса. Повышение спроса на электрическую энергию приводит к необходимости соответствующего расширения пропускной способности имеющихся сетей и/или их расширению. Повышенные требования к надежности и эффективности вынуждают операторов сетей предоставлять соответствующие услуги.

Для удовлетворения возрастающих запросов со стороны генераторов и потребителей операторам сетей необходимо фокусироваться на следующих основных областях [45]:

− моделирование состояния и сценариев поведения системы;

− мониторинг состояния системы в режиме реального времени и поддержание ее работоспособности;

− анализ сбоев работы системы.

Поскольку баланс спроса и предложения электрической энергии становится менее предсказуемым (появляется генерация на стороне потребителей, изменяется график потребления), операторам сетей необходимо учитывать эту изменчивость. Современные технологии управления сетями позволяют в виртуальном формате моделировать поведение электрической сети в зависимости от складывающихся условий. Подобные мероприятия позволяют обеспечивать надежность и эффективность функционирования сети. Оператор сети получает возможность более гранулярной настройки пропускной способности и повышения ее эффективности – моделирование позволяет определять необходимость расширения сетей.

Поддержание работоспособности сети является первоочередной задачей оператора. Тем не менее, распределенность сетевого хозяйства затрудняет эту задачу. Решением может стать предиктивная аналитика, основанная на собираемых в режиме реального времени данных. Система дает возможность просчитать вероятность выхода из строя элементов сети, что позволит оператору провести превентивное вмешательство, тем самым избежав сбоев поставок электрической энергии и снизив общую стоимость обслуживания сети (превентивный ремонт зачастую стоит гораздо дешевле замены элемента).

Анализ сбоев работы системы является важнейшим элементом обеспечения надежности и эффективности работы сети. Подобная система позволяет быстрее выявлять причины сбоев и быстрее реагировать на них в будущем. Снижение скорости реакции приводит к снижению операционных издержек и повышению удовлетворенности потребителей. Более того, предоставление потребителям информации о причинах сбоев повышает их осведомленность и в конечном счете лояльность.

Операторы сетей (включая интеллектуальные) продолжают играть важную роль в работе электроэнергетики – особенно в сегменте передачи. Магистральные сети продолжат обеспечивать поставки электрической энергии от крупных объектов генерации различным группам потребителей. Тем не менее, в будущем у операторов появятся дополнительные источники получения выгод. В первую очередь это будет касаться управления сетевыми активами для локальных распределительных сетей. Сетевой оператор, будучи в прошлом естественной монополией, накопил достаточный объем навыков и компетенций по эффективному управлению сетевым хозяйством. К нему по-прежнему будет подключено большое количество разнообразных потребителей. В связи с этим он может занимать роль интегратора и, пользуясь доступом к большому количеству потребителей и обладая обширной информацией, может управлять сетью более эффективно в масштабах всей сети. Тем самым возможно избежать проблемы локальной эффективности при глобальной неэффективности. Кроме того, сетевые операторы получат возможность избежать необходимости дорогостоящих инвестиций в расширение сети для поддержания краткосрочных пиков спроса. Выравнивание графиков нагрузки и использование интеллектуальных систем управления сетью позволит повысить эффективность использования существующего хозяйства без необходимости его существенного расширения.

Инновационные экосистемы в энергетике

Развитие инновационных решений и трансформационные процессы в энергосистемах привели в последние годы к быстрому росту инновационных экосистем в энергетиках. Эта тенденция особенно успешно развивается в странах с высоким инновационным потенциалом и опытом развития таких экосистем в других сегментах экономики, в первую очередь в IT.

1.2. Интеллектуальная энергетика: модели и механизмы развития

1.2.1. Развитие интеллектуальной энергетики

Указанные процессы вызывают глубокую трансформацию традиционных энергетических отраслей и энергосистем, особенно в электроэнергетике, где возникают интеллектуальные энергосистемы с участием потребителей, растущим сектором возобновляемой и альтернативной энергетики, распределенной энергетики и интегрированных решений.

Согласно определению International Energy Agency [28], интеллектуальной энергосистемой (ИЭС[1], англ. – smart grid) называется структура, включающая электрическую сеть, комплекс управления и мониторинга на основе цифровых и прочих технологий, которые применяются от источников генерации до конечного потребителя.

Концепция интеллектуальной энергетической системы подразумевает гибкую адаптивную координацию потребностей и возможностей всех участников (генераторов, операторов сетей, потребителей), а также более точный анализ и учет динамики погоды и других внешних условий, что позволяет обеспечить максимальную эффективность всей системы путем минимизации затрат и повышение ее надежности и стабильности [28, 47].

В отличие от традиционных энергосистем, где применяемые технологии способствовали формированию высокой концентрации в структуре собственности (во многих странах с высокой долей государственного участия), ИЭС – энергосистема открытого типа с низкими барьерами входа, более дифференцированной и менее концентрированной структурой собственности, а в секторе генерации наряду с централизованной возникает сектор распределенной генерации, а также расширяется область применения ко- и мультигенерации. Формируется новая информационная среда, где обмен оперативной информацией между участниками происходит на двусторонней основе и ближе к реальному времени. Это приводит к значительному изменению в управлении энергосистемы, усиливается эффект динамичного мультиагентного управления. В этих условиях трансформируются структура и правила энергосистем и рынков, бизнес-модели и стратегии участников, роли становятся более разнообразными и сложными, а их круг расширяется.

---

[1] Первым случаем практического применения ИЭС считается опыт компании Enel в Италии: завершенный к 2005 г. проект «Teleogestore». Его общая архитектура включала электронный счетчик, осуществляла измерения в режиме реального времени и выполняла функции управления и коммуникации между компаниями-участниками. Автоматическое управление осуществлялось через публичную сеть (GSM, GPRS, спутниковую связь), по которой передавались данные, собираемые с концентраторов низкого напряжения, установленных на каждой из подстанций среднего напряжения. Концентраторы поддерживали 2-стороннюю связь: полудуплексную связь между удаленной центральной системой измерения и самими измерительными устройствами [46].

В формирующихся ИЭС происходят следующие изменения [48]:

– интеграция традиционной централизованной и распределенной энергетики, в том числе инновационных секторов (ВИЭ, смартгриды, накопители и т. д.) а также с сопредельными энергосистемами;

– интеграция с системами тепло-, водоснабжения и т. д. интеграция и интеллектуализация коммунальных систем; формирование в городах умных интегрированных энергосистем;

– усложнение (диверсификация, многоуровневость, многоукладность) структуры интеллектуальной энергосистемы с участием потребителей по направлениям: технологическое строение, собственность, система управления, структура топливного баланса, ассортимент производимых товаров и услуг, динамическое ценообразование, информационный обмен между участниками энергосистемы и т. д.;

– появление новых цепочек создания стоимости и ценностных моделей, товаров и услуг, создаваемых в том числе во взаимодействии потребителями и производителями, другими участниками системы [49, 50];

– усложнение управления и стратегий развития участников интеллектуальной системы и самой ИЭС;

– формирование новых механизмов взаимодействия и координации экономических агентов в ИЭС;

– формирование новых моделей розничных рынков с участием просьюмеров, управляющих спросом активных потребителей, агрегаторов спроса, накопителей и т. д.;

– расширение списка стейкхолдеров ИЭС;

– снижение барьеров технологического присоединения к ИЭС и реализация принципа «plug and play».

Из открытости ИЭС следует, что она формируется на базе инклюзивных правил и институтов. Это обстоятельство является вызовом для многих стран, поскольку требуется развитие новых подходов к правилам игры, деловым практикам и институтам, значительно меняя существующие. Для успешной работы инклюзивных институтов требуется эффективная защита прав собственности и стимулирование свободной экономической деятельности, координация и взаимодействие участников как для оперативной деятельности, так и для развития энергосистемы. Одновременно с этим растут вызовы в сфере безопасности ИЭС, в том в сфере кибербезопасности.

Интеллектуальная энергетика – принципиально новая концепция устройства электроэнергетической отрасли, предполагающая, с одной стороны, техническую модернизацию сетевых активов, а с другой, что гораздо более значимо, – активное участие потребителя в рыночных процессах отрасли [51]. Для крупных территорий (тем более – урбанизированных стран с высоким уровнем промышленного производства и уже существующими мощными централизованными электроэнергетиками) актуально интегри-

рованное развитие централизованной энергетики и множества локальных распределенных микросистем и собственной генерации потребителей. Таким образом, иерархический принцип организации управления энергосистемами постепенно дополняется развитием сетевых форм, дальнейшей децентрализацией инвестиционных решений в секторе генерации. Это – интеллектуальная энергосистема, модель нового, адаптивного, энергоинформационного типа, со сложной структурой, объединяющей иерархическую систему управления с многоуровневыми системами самоуправления и автоматизированной диспетчеризации, где более выражены тенденции децентрализации и сетевой организации, где потребители могут играть более активную роль (производство, рыночная торговля, управление потоками электроэнергии в сетях, оказание системных услуг и т. д.) и значительно меняются все системные принципы организации отрасли и ее управления.

Интеллектуальная энергосистема интегрирует все этапы производства и передачи электроэнергии на основе нового технологического базиса, объединяющего энергетическую и информационную инфраструктуру. На рис. 1.12 схематично описан пример ИЭС с выделением ее основных компонентов: централизованной и распределенной генерации, сетевых активов, потребителей разных типов.

Рис. 1.12. Интеллектуальная энергосистема (из источника – EPRI [52])

В ходе трансформации энергетики и развития интеллектуальных энергосистем возникают изменения технологические (представляющие собой комплекс взаимосвязанных и комплементарных технологий) и организационные (характеризующиеся изменением состава участников и характера взаимодействия между ними), которые при этом меняют энергетический ландшафт в экономике.

В ИЭС применяется новый технологических базис (прил. А), представленный в том числе прорывными технологиями, обеспечивающими создание всего спектра промежуточных и конечных товаров и услуг, которые востребованы в настоящее время, составляющие которого прогрессируют и адаптируются с различной скоростью и различными сегментами в зависимости от локальных условий деловой и инвестиционной среды, совместимости с применяемыми технологиями, состоянием нормативно-правовой базы [48], а также стратегий участников энергосистем и экономик, внешних и внутренних вызовов, с которыми общество и энергетика сталкиваются. В условиях нового технологического базиса меняются принципы развития энергетики, и с этой точки зрения – это прорывной путь и выход на новый уровень развития [52]. На рис. 1.13 представлена базовая схема ИЭС.

Развитие интеллектуальной энергетики началось в 2000-х гг., когда развитые страны начали внедрение интеллектуальной энергетики, преследуя цели дальнейшего повышения энергоэффективности, упрочения энергобезопасности, снижения потребительских цен на энергию при повышении уровня защиты экологии и устойчивости социального и экономического развития. В середине 2000-х гг. в условиях высоких цен на нефть и газ на мировых энергетических рынках, а также роста актуальности проблемы парниковых газов и загрязнения окружающей среды, к этой группе стран, развивающих ВИЭ и smart grid, присоединились многие другие, заинтересованные в снижении своих затрат и повышении эффективности в энергетической сфере: Китай, Бразилия, Индия, Япония, Южная Корея, Испания, Италия и др. На сегодняшний день практически все страны осуществляют переход к интеллектуальным энергетическим системам.

В большинстве развитых зарубежных стран основные цели и приоритеты перехода к интеллектуальной энергетике определяются национальными стратегическими документами (табл. 1.4) [53].

Приоритеты развития интеллектуальной энергетики в разных странах ранжируются в соответствии с системой драйверов их развития (табл. 1.5) [28]. Целевое видение, роль и место интеллектуальной энергетики в каждой из стран определены с учетом указанной специфики и особенностей стратегических задач развития отрасли: они имеют значительные сходства в трактовке ключевых ценностей, функциональных характеристик и перечня ключевых технологий, формирующих ИЭС.

Проведенный анализ показывает, что в Америке, Канаде, Европе и ряде других стран концепция Smart Grid в последние годы из идеи создания современной и высокотехнологичной сети превратилась в национальные инновационные программы по развитию электроэнергетического комплекса в целом, глобальную поддержку которых (как финансовую, так и политическую) осуществляет государство.

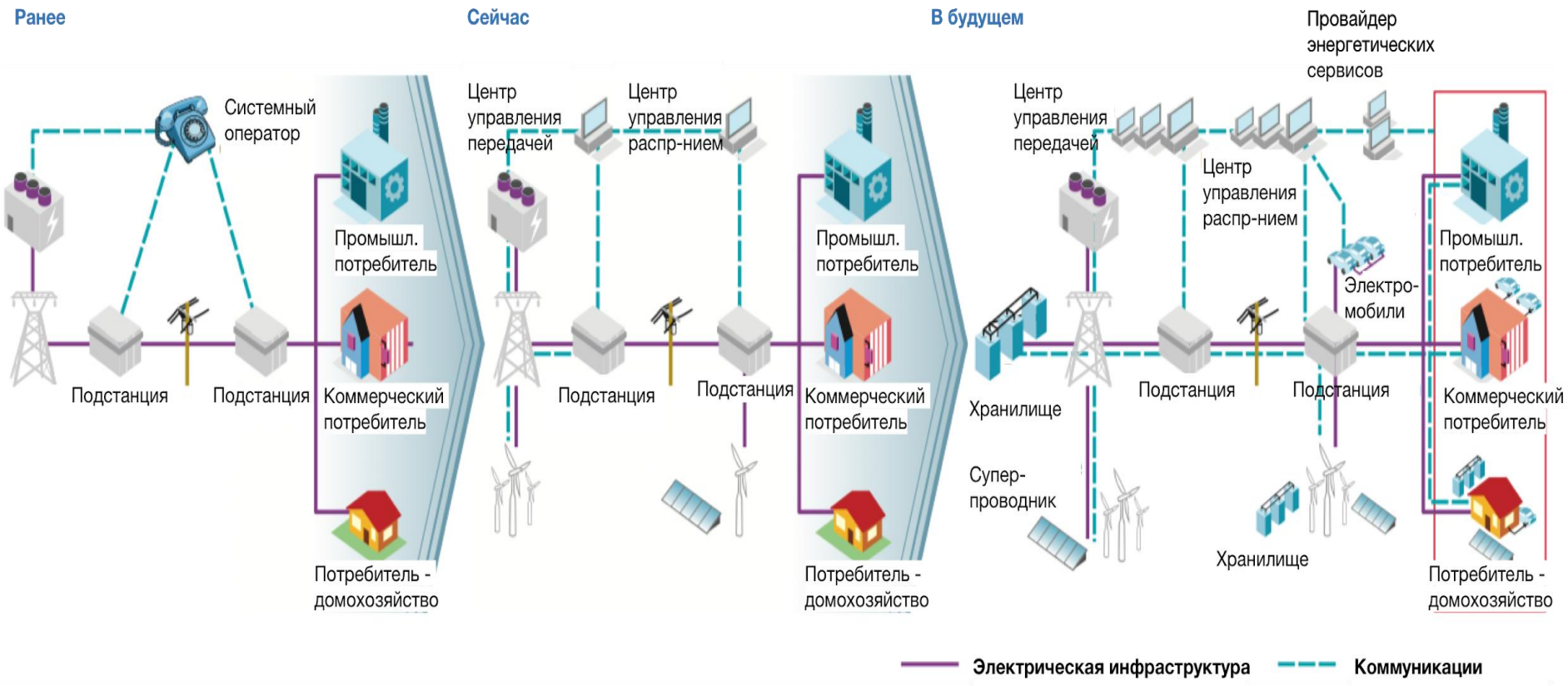

Рис. 1.13. Базовая схема ИЭС. Показан эволюционный характер системы (заимствовано из [28])

Таблица 1.4

Инициативы в области интеллектуальной энергетики в зарубежных странах

Страна	Инициативы
Китай	Китайское правительство разработало обширный долгосрочный стимулирующий план по инвестированию в электросети, включая значительные инвестиции в Smart Grid – «Strong and Smart Grid». Системы Smart Grid рассматриваются как путь к снижению энергопотребления, роста эффективности электросетей и способ управления генерацией ВИЭ. Инвестиции в Smart Grid достигли 96 млрд долл. США к 2020 г.
США	Развитие интеллектуальной энергетики идет в соответствии с законом «О восстановлении и реинвестировании американской экономики» (the American Recovery Reinvestment Act of 2009), который предусматривает модернизацию электроэнергетики на базе комплексного и системного внедрения интеллектуальных технологий. В развитие данного документа в США принят целый ряд концептуальных документов, определяющих основные принципы, функциональности и технологии новой энергетики
Япония	Федерация энергокомпаний Японии (The Federation of Electric Power Companies of Japan) развивает Smart Grid, включая солнечную генерацию, получая государственные инвестиции до 2020 г. свыше 100 млн долл. США. Японское правительство анонсировало национальную инициативу в области интеллектуальных средств учета (Smart Metering), а крупные энергетические компании (utilities) анонсировали программы в области Smart Grid
ЕС	«Smart Grids – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future» – Европейская технологическая платформа для электрической сети будущего» была запущена в 2005 г. с целью создания и популяризации концепции развития европейских электрических сетей до 2020 г. и далее
Южная Корея	Корейское правительство совместно с электроэнергетической индустрией начало пилотную программу стоимостью 65 млн долл. США на острове Чеджу, представляющую создание полностью интегрированной системы Smart Grid, объединяющей 6000 домохозяйств, ветропарки и четыре распределительные линии электропередач. Корея объявила о планах внедрения систем Smart Grid в национальном масштабе к 2030 г.

Практически во всех странах инициировано множество новых программ, в том числе поддержки научных исследований и инвестиций, основной механизм разработки и внедрения концепции ИЭС за рубежом – частно-государственное партнерство: в разработках по всем направлениям участвуют и государственные, и муниципальные структуры, а также частный бизнес, при этом имеет место различное сочетание институциональных структур.

Так, например, в США для содействия модернизации электроэнергетики Министерство энергетики образовало партнерства с ведущими сторонниками и идеологами концепции ИЭС. В ЕС в 2005 г. была предложена

идея создания технологической платформы, предназначенной специально для развития электроэнергетики в Европе – «SmartGrids – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future».

Таблица 1.5

Драйверы и приоритеты внедрения интеллектуальной энергетики за рубежом

	Развитые страны	**Развивающиеся страны**
Драйверы	Повышение эффективности работы системы Постановка целей или утверждения стандартов по ВИЭ Повышение надежности системы Развитие новых продуктов, услуг и рынков Вовлечение потребителей в процесс и предоставление потребителям права выбора Оптимизация использования активов	Повышение надежности системы Повышение эффективности работы системы Сбор доходов/выручки, повышение достоверности полученных данных и эффективности работы Постановка целей или утверждения стандартов по ВИЭ Экономические преимущества Надежность генерации
Приоритеты	Развитая инфраструктура с внедрением интеллектуального измерения Развитие технологий распределенной энергетики Развитие возобновляемой энергетики Внедрение информационно-коммуникационных технологий Внедрение технологии «умный дом»	Развитая инфраструктура с внедрением интеллектуального измерения Система управления распределением электроэнергии и отключениями Внедрение электронного оборудования/автоматизация оборудования Развитие технологий распределенной энергетики Внедрение информационно-коммуникационных технологий

Наиболее распространенным подходом при развитии «умной» энергетики является формирование ее «сверху», на государственном уровне, с временными горизонтами стратегического планирования от 2020 до 2030, иногда до 2050 гг.

Переход к интеллектуальной энергетике за рубежом идет уже второе десятилетие, и к настоящему времени этими странами накоплен богатый опыт в ее реализации: как в сфере создания и развития новых технологий, механизмов и инструментов их внедрения в инфраструктуру энергетических компаний, так и в сфере организационно-управленческих и нормативных вопросов. Этот опыт достаточно широко представлен в свободном доступе – как в СМИ, так и на сайтах множества стейкхолдеров. Так, в США, например, результаты всех пилотных проектов находятся в свободном доступе, аналогичный подход принят и в Европейском союзе и других странах. Такая открытость обусловлена высокой стоимостью внедрения новых технологий инструментов и еще более высокой ценой ошибочных решений.

Систематизация зарубежного опыта на основе анализа имеющихся результатов, рисков и ограничений реализации стратегий развития интеллектуальной энергетики позволяет выделить следующие важные моменты:

− проблема вовлечения потребителя в процесс развития интеллектуальной энергетики. Практически все страны в концептуальных документах в качестве ключевой рассматривали потребителя как активного агента преобразований, возлагая большие надежды на его заинтересованность и готовность инвестировать в собственное энергетическое развитие. Однако, как показывает опыт, колоссальные ресурсы и государства, и энергетических компаний, потраченные на достижение этой ключевой задачи, не принесли должного результата на текущий момент. Существующих выгод пока недостаточно для заинтересованности многих потребителей инвестировать в развитие собственных источников малой генерации и полноценно участвовать в программах управления спросом. Одновременно усилился процесс развития технологических платформ межотраслевого значения, в том числе в ходе цифровизации отраслей экономики. Это привело к смещению фокуса в приоритетах развития интеллектуальной энергетики в зарубежных странах с потребителя на развитие инфраструктуры;

− развитие электроэнергетики за рубежом характеризуется изначальным доминированием принципов построения и механизмов децентрализованного управления электроэнергетическими объектами. Осознание преимуществ интеграции локальных энергетических систем на государственном и межгосударственном уровнях на основе единых управленческих и информационных технологий привело зарубежные страны к необходимости проведения существенных изменений;

− проблемы интеграции различных новых информационных систем: информационная и коммуникационная инфраструктура, которая необходима для устройств ИЭС, создает возможности, издержки и вызовы для интеграции, которые являются новыми для энергокомпаний, и их стоимость трудно оценить, а ресурсы и время, необходимые для интеграции новых сетей и систем, трудно предсказать. Неопределенность жизненного цикла цифровых устройств и систем, возможность реализации полного набора новых функций и операционных возможностей в течение продолжительного периода создают существенные проблемы для энергокомпаний при определении стратегии и задач: они не знают, на какую глубину (на какой уровень) должна быть модернизирована информационная и коммуникационная инфраструктура, и на каком уровне она должна поддерживаться, поскольку технологии развиваются;

− энергокомпании и регуляторы получили новые инструменты для оценки технологий и принятия инвестиционных решений, такие как издержки, которых удалось избежать (издержки потребителей из-за от-

ключений энергоснабжения), анализ затрат и выгод для технологий ИЭС, оценки уровня стоимости услуг (value-of-service (VOS))[2];

– технологии ИЭС порождают новые виды информации, которую появляющееся новое направление анализа данных будет использовать для новых операций и повышения эффективности бизнеса (например, в областях управления отключением питания, активами, системного планирования). IT-инфраструктура и анализ данных будет способствовать тому, что еще больше энергокомпаний будет двигаться далее разворачивания коммуникационных технологий и телеметрии, и разнообразная выгода от использования данных smart grid позволит улучшить процессы в сфере принятия решений и операционной деятельности;

– опасения насчет живучести энергосистем и устойчивости энергоснабжения также повысили интерес к развитию микросистем (microgrid), чтобы обеспечивать работу изолированных систем (например, когда происходит быстрое подключение/отключение от окружающей сети) во время чрезвычайных ситуаций. Оптимальный вариант взаимодействия энергосистемы и микросистем, а также функций микросистем, требует более технически сложных, интеллектуальных систем, которые применяют продвинутые технологии телеметрии, коммутации (переключения) и контроля и эффективно интегрировать технологии автоматизации распределения и распределенной генерации;

– растущая озабоченность по поводу окружающей среды и снижающиеся цены на технологии ведут к активному внедрению (adoption) генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), многие такие технологии относятся к сектору распределенных энергетических ресурсов (DER). DER включают распределенную генерацию (например, солнечные батареи, устанавливаемые на крыши, когенерацию и т. д.), электромобили, практики управления спросом (demand response) и хранение энергии, топливные элементы, виртуальные электростанции и др. Интеграция DER, как ожидается, приведет к трансформации операций на уровне распределительных систем, поскольку потребители и новые производители (third-party providers) станут вовлечены в производство и управление электроэнергией. Потребители электроэнергии и новые производители (third-party providers) становятся более вовлеченными в интеллектуальный менеджмент электроэнергии, эволюцию технологий системы, бизнес-модели и регуляторы будут нуждаться в нахождении координирующих подходов.

В целом группа ведущих развитых стран стремится совершить инновационный рывок (цифровизация, искусственный интеллект, роботизация и т. д.), повысив при этом энергоэффективность и обеспечив приемлемый

[2] Этот оценочный подход позволяет энергокомпаниям и регуляторам понимать истинные издержки перерывов в энергоснабжении и помогает выстроить приоритеты в инвестиционной деятельности, что ведет к улучшению надежности и высокой адаптивности (приспособляемости).

уровень энергонезависимости, стремясь сохранить свои глобальные конкурентные преимущества и поддержать свое влияние в мире. Крупные развитые страны в последние десятилетия выбрали путь активной, можно сказать, форсированной трансформации национальных энергосистем, начав с проведения в электроэнергетике рыночной реформы, затем усилив стимулы для внедрения технологий ВИЭ, распределенной и интеллектуальной энергетики, электротранспорта и накопителей, побуждая потребителей становиться активными, управлять своим спросом и внедрять энергоэффективные решения. Важно также отметить, что финансовые институты в развитых странах, которые в целом играют значительную роль в мировой финансовой системе, в последние годы поддержали политику перехода к низкоуглеродной энергетике.

Технологии ИЭС могут принести выгоду как в развитых, так и в развивающихся странах. В энергетических системах на стадии становления ИЭС могут функционировать в островном режиме, а в последствие быть включены в состав региональной или национальной энергетической системы. В развитых энергетических системах технологии ИЭС могут решить проблемы недостатка мощностей, больших перепадов спроса и стареющей инфраструктуры.

Одновременно, существенным мотивом внедрения различных технологий в рамках ИЭС является соблюдение требований различных целей и стандартов на уровне отдельного государства. Примерами могут служить: «Энергетический переход» (нем. «EnergieWende») в Германии – политика по снижению общих выбросов CO_2 без использования ядерной энергии [54, 55]; «Глобальная энергетическая трансформация» (англ. «Global Energy Transformation») – глобальная политика Международного агентства по возобновляемой энергии (англ. IRENA) в области снижения выбросов парниковых газов и перехода на ВИЭ [56]; «Инициатива энергетического перехода» (англ. «Energy Transition Initiative») – долгосрочное видение энергетической эффективности и внедрения ВИЭ в США (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy).

В части развития новых продуктов/услуг/рынков рассматриваемые государства нацелены на максимизацию выгоды от внедрения нетрадиционных элементов в энергосистемы. Происходящие в настоящее время изменения в энергетическом секторе (включая растущую электрификацию, децентрализацию и цифровизацию) характеризуются очень быстрым темпом проникновения по сравнению с технологиями прошлого. Теперь для достижения уровня зрелости рынку необходимо гораздо меньше времени (рис. 1.14) – по оценкам Мирового энергетического форума, происходящая трансформация энергетического сектора создаст более 2,4 млрд долл. добавленной стоимости в течение следующих 10 лет [6].

Среди прогнозируемых выгод от развития новых сегментов энергетического сектора (распределенная генерация, распределенные накопители

электрической энергии, электромобили, инфраструктура интеллектуальных приборов учета и энергопринимающих устройств, технологии управления потреблением электрической энергии) выделяют: более чистую структуру генерирующих мощностей, создание новых рабочих мест, связанных с развитием и внедрением этих технологий, более широкий выбор для потребителя. Описанные технологии также потенциально могут уменьшить степень социального неравенства среди групп населения с ограниченным доходом [6].

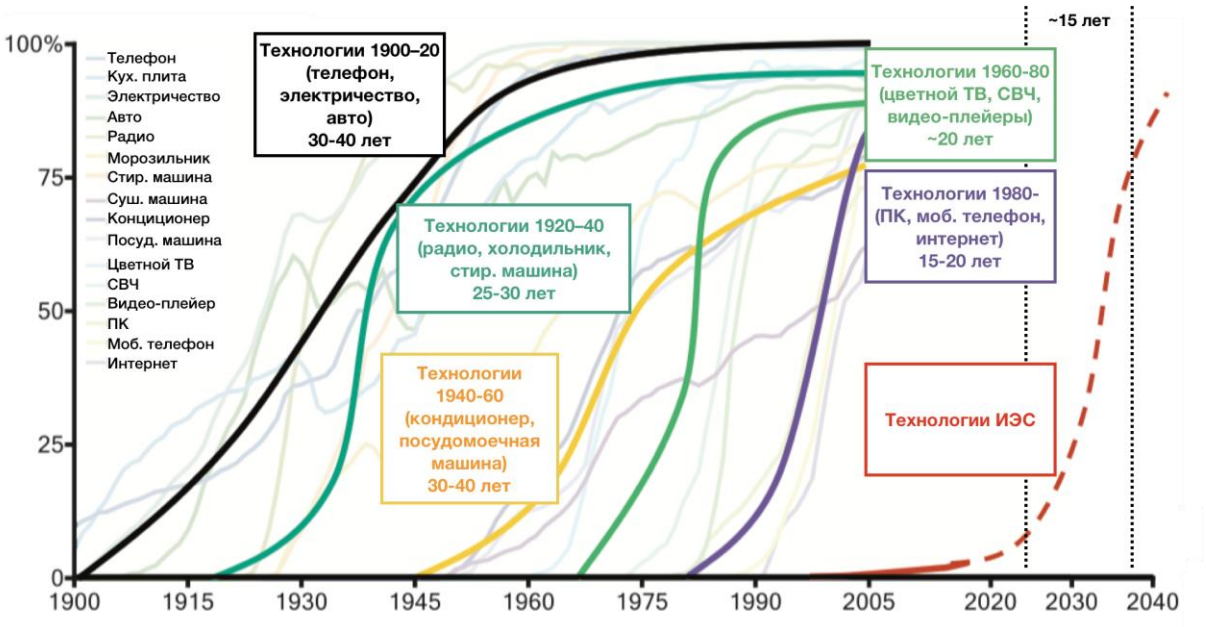

Рис. 1.14. Время, необходимое технологии для достижения 80 % уровня проникновения на рынок (адаптировано из [6])

Тем не менее, существует риск разрушения стоимости, создаваемой подобными технологиями в случае, если не будет выстроена целостная система, в рамках которой дополнительные инвестиции будут приносить выгоды и создавать различные сетевые эффекты.

Описанные факторы явно доказывают, что развитие ИЭС и стимулирование внедрения отдельных технологий важно для различных государств мира, поскольку являются способами реализации государственной политики в части обеспечения экономического роста и общего развития их экономик.

Учитывая динамику развития и распространения инновационных товаров и услуг и оценивая потенциальные выгоды и положительные эффекты, в разных странах создают для них стимулы и благоприятные условия, в том числе: дорожные карты и стратегии развития электроэнергетики; софинансирование проектов; финансовые льготы (снижение налогов, ставок по кредитам) и ценовые (тарифы); развитие нормативно-правовой базы и стандартов [28].

Проведенный анализ показал, что электроэнергетическая отрасль существенным образом изменяется. Трансформируется ее технологический и организационный базис. В табл. 1.6 приведено описание основных триггеров изменений, а также последствий их проявления.

Таблица 1.6

Основные триггеры изменений в электроэнергетике и последствия их проявления

Триггер	Последствия
Распространение возобновляемых источников энергии, распределенной генерации и систем хранения электрической энергии	Повышение сложности управления системой (рост флуктуаций в генерации); появление у потребителя альтернатив в части выбора поставщика; фрагментация электроэнергетический системы
Появление новых технологий обеспечения взаиморасчетов с потребителями	Снижение роли традиционных посредников; повышение прозрачности тарификации и биллинга; сложности регулирования транзакций нового типа
Распространение электрического транспорта	Рост спроса на электрическую энергию; изменение графиков потребления
Распространение технологий управления спросом и энергоэффективности	Смещение пиков нагрузки на сеть; общее снижение потребления электрической энергии; повышение сложности управления системой
Распространение интеллектуальных сетей	Автоматизация диспетчерского управления; повышение фрагментации системы
Появление принципиально новых услуг на рынке	Увеличение требовательности потребителей; риски для традиционных потоков выручки электроэнергетических компаний
Появление в отрасли фирм из других – нетрадиционных отраслей	Риски для традиционных потоков выручки электроэнергетических компаний; новые продукты и услуги для потребителей
Активизация поведения потребителей	Повышение «силы торга» потребителей ввиду наличия у них альтернатив

Как видно из информации в таблице, происходящие изменения носят системный характер – они оказывают влияние на различные аспекты функционирования электроэнергетической системы. Общим во всех изменениях является их инновационность. Соответственно, реакция на эти изменения тоже должна носить системный и инновационный характер – существует насущная необходимость объединения усилий различных заинтересованных сторон (регуляторов, потребителей, традиционных игроков сектора, новых игроков). Инновационное развитие не должно нарушать стабильность и надежность функционирования системы, а действия участников процесса изменений должны носить согласованный характер. Подобные изменений требуют пересмотра самой логики анализа отрасли, которая будет рассмотрена в следующем разделе.

Структурная трансформация электроэнергетики приводит к существенному изменению технологического и организационного базиса ее функционирования. Изменяется состав участников, форматы их взаимодействия. Изменению подвергается само понятие «ценностное предложение» – потребителям теперь недостаточно только поставки электрической энергии. Их интересуют возможности управления собственным потреблением, возможности контроля потребления, а также наличие возможности для активного участия в работе системы.

1.2.2. Взаимодействие институциональных систем страны, влияющих на реализацию энергетического перехода

Происходящая в настоящее время технологическая трансформация имеет фундаментальный характер, и в большинстве стран, а также в научном сообществе, рассматривается с позиций энергетического перехода, меняющего энергетический уклад в целом, а не только энергосистемы.

В данном процессе также выделяются ключевые механизмы взаимодействия, охватывающие социотехническую, технико-экономическую и политическую системы, имеющие отношение к энергосистеме, энергоресурсам, энергоснабжению и вовлеченным в них экономическим агентам. От эффективности взаимодействия названных крупных институциональных систем зависит успешность продвижения энергетического перехода, и, в том числе создания и развития ИЭС (рис. 1.15).

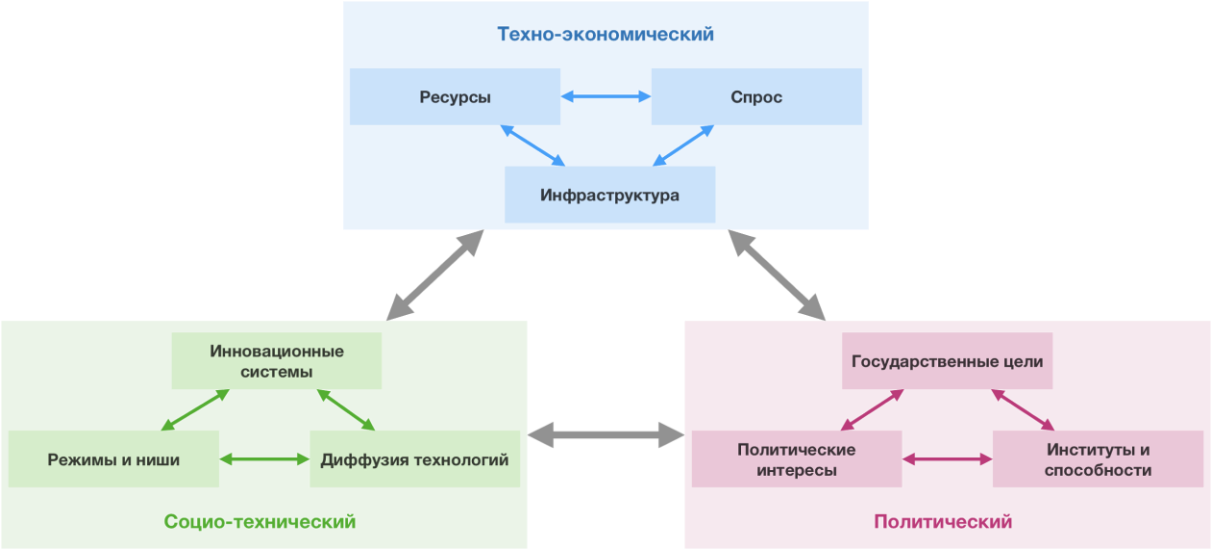

Рис. 1.15. Механизм и направления изменений в ходе трансформации электроэнергетики (заимствовано из [57])

Очевидно, что важны качества самих институтов, поскольку они определяют условия, возможности и правила взаимодействия экономических агентов. При этом в процессе энергетического перехода и выхода на новый технологический базис институциональная система сама претер-

певает изменения по всем трем категориям институтов, в том числе в части правил, поведении и взаимодействиях экономических агентов, методах организации, коммуникациях и управления [58].

Из опыта теории реформ следует, что цель может быть достигнута, если двигаться вдоль перспективной институциональной кривой, где на основании регулярных согласительных процедур (переговоры, уточнение стратегии, инструментов, правил игры и распределения выигрышей) разрешены возникшие спорные вопросы и согласованы интересы ключевых групп экономических агентов по поводу проводимых преобразований [59, 60].

Важную роль играет готовность энергетиков и общества в целом к инновационному развитию энергетики, прохождению переходного периода и решению возникающих конфликтов между старыми и новыми принципами работы энергосистемы и рынков товаров и услуг, в том числе таким решениям [48]:

– низкие барьеры входа в энергосистему;

– развитые и удобные стандарты коммуникации;

– широкий диапазон форматов сотрудничества и реализации различных бизнес-моделей;

– эффективная защита прав собственности;

– развитие правил игры, обеспечивающих согласование интересов экономических агентов одновременно с устойчивым развитием энергетики и экономики;

– скоординированные действия экономических агентов и их готовность к долгосрочному сотрудничеству.

Международное сотрудничество является необходимым для функционирования развития электроэнергетики, и в настоящее время оно затрагивает различные области:

– развитие экспертного знания об энергосистемах, технологиях и энергетике в целом на базе исследовательской деятельности и сотрудничества в международных организациях (SIGRE, IEEE и т. д.);

– научные исследования и разработки в различных направлениях развития энергетики (отраслевые рынки, поведение и экономическая деятельность потребителей и производителей, новое оборудование, материалы, инвестиционная деятельность, регулирование, менеджмент и структура бизнеса и т. д.);

– развитие правил международной торговли энергоносителями и региональных рынков энергоресурсов;

– заключение международных соглашений по охране окружающей среды, ограничению выбросов и различным вопросам устойчивого развития, кибер- и энергобезопасности и др.;

– поставки энергомашиностроительного, электротехнического и цифрового оборудования и программного обеспечения;

– интеграция энергетических рынков;

– торговля энергоресурсами, электроэнергией;

– привлечение иностранных специалистов для разработки проектов и строительства энергетической инфраструктуры;

– привлечение иностранного капитала и средств международных институтов развития для финансирования развития энергетики;

– обмен опытом, образование и консалтинг.

Это формирует условия для возникновения международных цепочек создания стоимости, при этом распределение рисков и доходов между участниками может быть разным, зависящим от уровня влияния участвующих сторон и их коалиций, а также действий третьих сил.

Наиболее значительное влияние на международные цепочки создания стоимости оказывают крупные экономики, традиционно – ведущие развитые, влияние крупных развивающихся стран пока слабее, но увеличивается и имеет значительный потенциал роста. Это создает конфликт интересов и область напряженности в международных отношениях и трансформационных процессах в глобальном мире.

Стратегическое противостояние Китая и США, а также структурные изменения в глобальном мире предопределяют неопределенность сценариев развития мирового сообщества в ближайшие десятилетия, что обуславливает формирование разных вариантов для развития международного сотрудничества, от взаимодействия до противостояния разной степени напряженности и интенсивности [61], где отличны барьеры и возможности для движения капитала, распространения инноваций, в том числе в энергетике и цифровых технологиях, в формировании цепочек стоимости на основе международного сотрудничества.

При этом существуют различные гипотезы по поводу изменения климата, по которым возможно как продолжение ускоренного потепления, так и замедления этой тенденции, а также наступление периода похолодания [62]. Насколько усилия международного сообщества могут повлиять на этот процесс, то есть сделать его хотя бы отчасти управляемым, можно пока лишь предполагать. Региональные особенности изменения климата также отличаются, что формирует различные условия для развития ИЭС в разных странах.

Изменения в глобальном мире и климат обусловливают изменчивую и недостаточно предсказуемую в ближайшие десятилетия внешнюю среду для каждой страны. Это требует адаптации в различных направлениях, в зависимости от возникающей конфигурации вызовов, возможностей и ограничений. Помимо механизмов взаимодействия между экономическими агентами в ходе создания и функционирования интеллектуальной энергетики требуется большая интеграция и гармонизация между различными направлениями государственной политики и сферами регулирования в других отраслях, экономике и обществе.

С точки зрения развития социотехнических систем, энергетический переход и создание ИЭС, как показано на схеме (рис. 1.16), начинается с возникновения инновационных ниш на микроуровне, где действуют акторы, которые под воздействием своих собственных ожиданий и видения, а также при благоприятных условиях энергетического режима и ландшафта (через ожидания и сетевые связи) получают «окно возможностей» и развиваются, вытесняя старые технологии, обновляя, тем самым, правила игры, стратегии участников и сами конфигурации и качества энергетического режима и ландшафта [63, 64].

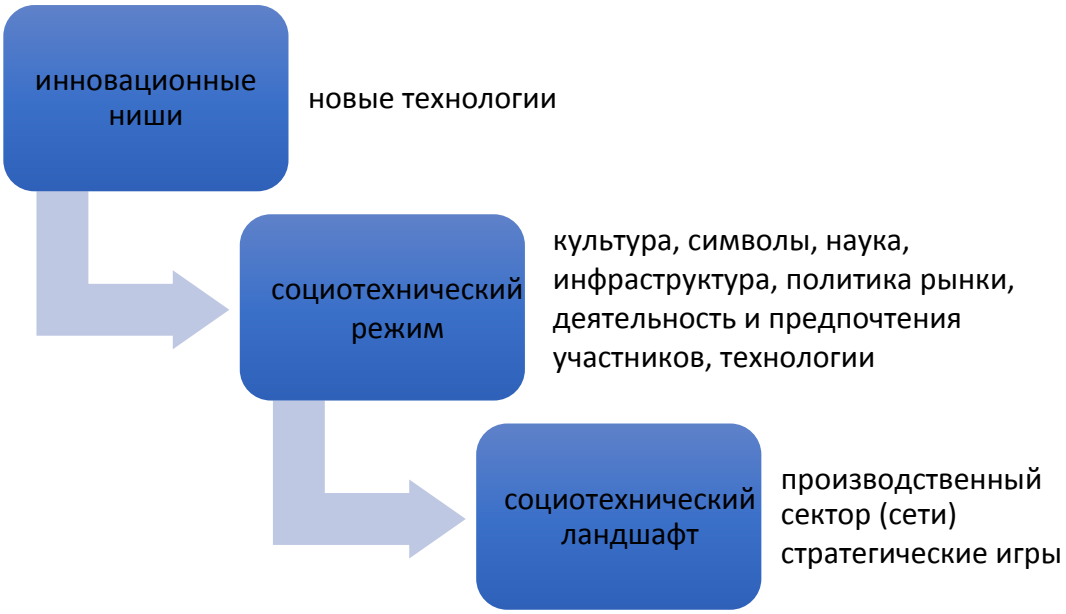

Рис. 1.16. Многоуровневая структура технологического перехода
(адаптировано из [63])

Для многих стран проникновение новых технологий из ниш в энергосистему ставит задачу создания благоприятных условий для инновационной и инвестиционной деятельности в электроэнергетике, поскольку фокус внимания в традиционных энергосистемах часто сосредоточен на деятельности участников-энергокомпаний и их набора технологий, а для новых участников и новых технологий часто существуют барьеры.

Возможны различные сценарии для развития как экономик, так и энергетического перехода и создания ИЭС: процесс может идти по разным трекам, что в итоге, как уже отмечалось, может привести к созданию разных структур и характеристик интеллектуальной энергетики, включая уровень участия потребителей, обновленные бизнес-модели энергокомпаний, разный уровень влияния и участия иностранных экономических агентов в энергетике.

Напомним, что США и другие ведущие развитые страны поставили вопросы инновационного развития энергетики в центр своих долгосроч-

ных стратегий развития и позиционируют их как прорыв. Это позволяет структурировать и оптимизировать адаптационный потенциал, систематизировать и гармонизировать задачи, и выйти на прорывной трек развития, где движение не встречает значительных помех во внешней среде, хотя при этом остаются внутренние сложности и вызовы трансформации и перехода на новый технологический уровень.

Таким образом, тренд развития ИЭС и трек энергоперехода, особенно для крупных стран, позиционирующих себя как центр силы в мире, имеет сложную структуру, но при этом он может быть гармонизирован, чтобы сделать возможным прорывное развитие в благоприятных внешних условиях (рис. 1.17). Для этого требуется управление адаптивным потенциалом энергетики, общества, экономики для создания ИЭС и применение механизмов адаптации к изменчивым условиям внешней среды и механизмы согласования интересов ключевых стейкхолдеров и экономических агентов в целом, а также различные стабилизаторы экономики и прочие меры, создающие благоприятный деловой и инвестиционный климат.

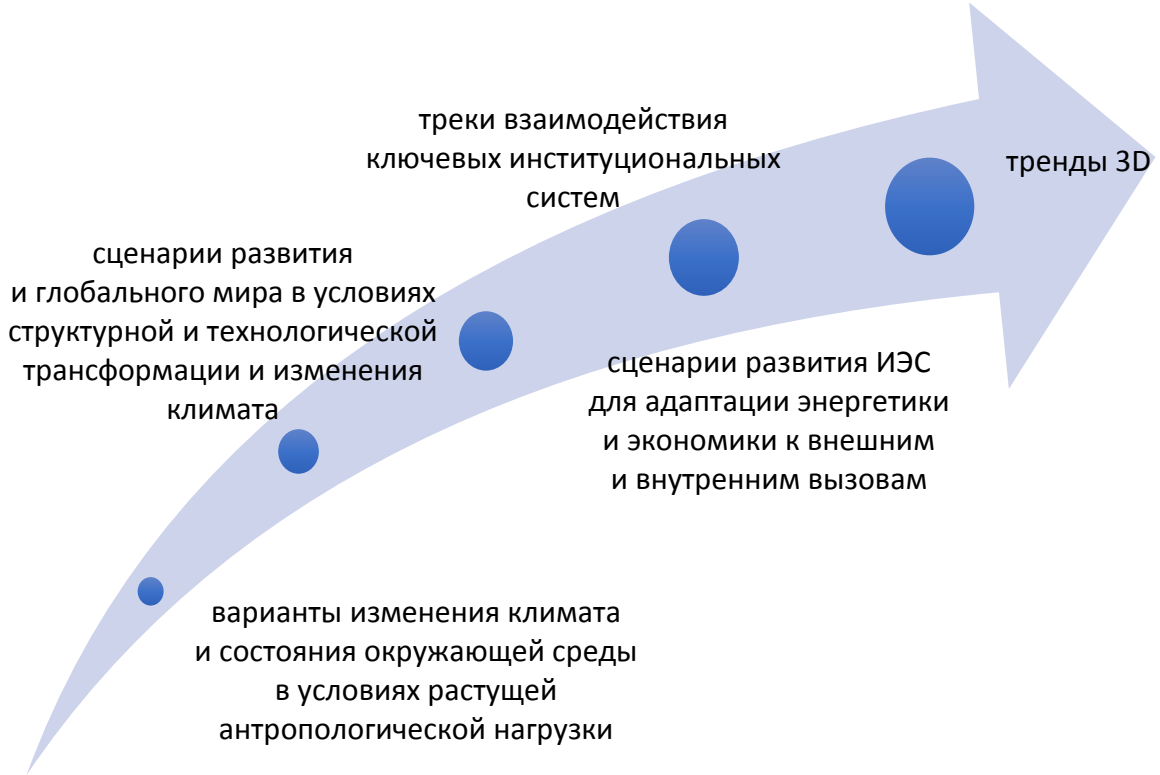

Рис. 1.17. Внешний контекст для трендов развития интеллектуальной энергосистемы

Трансформация социотехнического режима в глобальной экономике идет под воздействием изменений в отдельных странах. Крупные страны и их объединения, являющиеся лидерами процесса энергоперехода (США, ЕС, Германия, Китай), оказывают значительное влияние на изменения

на глобальном уровне, в том числе через изменение правил и стратегий игры на рынках энергоресурсов, капитала и технологий, транснациональные корпорации и международные институты развития. Но при этом возникновение благоприятного «окна возможностей» для каждой страны обусловлено действиями регуляторов и политиков национальной экономики и действующими участниками энергетического сектора и экономики.

1.2.3. Развитие интеллектуальной энергетики в России

Развитие интеллектуальной энергетики в России началось позднее, чем в ведущих развитых странах, и оно имеет свои особенности, вызванные избытком использования традиционных источников энергии, большой территорией, низкой плотностью населения во многих частях страны, состоянием институциональной системы, высоким уровнем государственного участия в энергетике и экономике, противоречивым инвестиционным климатом, другими экономическими и социальными факторами [1, 65, 66].

Внимание к энергопереходу, участию потребителей в энергосистемах и развитию ВИЭ долгое время было настороженным, что во многом было связано с тем, что Россия является крупным производителем и экспортером углеводородных энергоресурсов, и развитие низкоуглеродной энергетики поначалу многими policy-makers рассматривалось критически с точки зрения угроз экспортным доходам экономики, высокой стоимости по сравнению с традиционными энергосистемами, неактуальности в свете текущих проблем российской экономики и энергетики. Можно отметить, что и за рубежом традиционные участники энергетики также не были в числе тех, кто изначально поддерживал развитие низкоуглеродной энергетики и участие новых игроков в энергосистемах, поскольку это усложняет условия и повышает требования к их бизнесу, усиливает конкуренцию, многие выигрыши на первых этапах трансформации и развития трендов 3D создает на стороне потребителей или новых участников. Но поскольку проблемы экологии, устойчивого развития, выхода на новый технологический базис, в том числе связанные с распространением цифровых и интеллектуальных решений, и названные в начале работы глобальные тренды создают новые задачи перед энергетикой, движение в сторону низкоуглеродных и интеллектуальных энергосистем стало привлекательным и выгодным для экономики и общества во многих странах, и традиционным участникам энергосистем пришлось это принять. Видимо, также это произойдет и в России.

Развитие мировой электроэнергетики и распространение различных инновационных технологий, а также быстрое изменение международных соглашений в условиях энергетического перехода к низкоуглеродной энергетике требует от российской электроэнергетики соответствующей реакции: в том случае, если развитие будет продолжаться по инерционному

сценарию, существует серьезный риск стагнации отрасли, а также снижения конкурентоспособности российской экономики из-за ухудшения оценок инвестиционного климата и невыполнения требований к экологичности производимой энергии.

Необходимость перехода к интеллектуальной энергетике была признана специалистами в 2010–2015 гг. как ответ на возникающие риски снижения конкурентоспособности экономики в условиях формирующихся условий на трансформирующихся рынках в глобальной экономике [48, 52, 65, 67]. В этот период начал проявляться вектор инновационного развития и на новом уровне возродился тренд создания ВИЭ. Однако эти направления не стали сильным драйвером трансформации электроэнергетики и форсированного перехода к ИЭС с участием потребителей, как это происходит в зарубежных странах. Кроме того, развитию низкоуглеродной и интеллектуальной электроэнергетики не было придано стратегическое значение, как это можно наблюдать в развитых странах.

Пока тренд на развитие интеллектуальной энергетики в России связан с модернизацией деятельности традиционных участников энергетических отраслей, и мало внимания уделяется взаимодействию в рамках цепочек создания ценности (кроме распространения умных счетчиков и создания сервисов для онлайн-платежей), активному участию потребителей в энергосистемах (кроме крупных предприятий, которые присутствуют на оптовом рынке электроэнергии). Особенно заметно отставание в развитии городских интеллектуальных интегрированных энергосистем, smart grids, экосистем в энергетике, новых бизнес-моделей энергокомпаний и потребителей.

Фокус внимания отраслевого энергетического сообщества специалистов и регуляторов сосредоточен на модернизации традиционных энергосистем, в электроэнергетике это связано с решением следующих проблем: высокий уровень износа основных средств в энергосистемах, перекрестное субсидирование между потребителями, вынужденная генерация, технологическое отставание развития отраслей энергетики от других стран.

В соответствии с данными мирового энергетического совета, перед электроэнергетической отраслью России в настоящий момент стоят следующие вызовы (рис. 1.18), из которых наиболее существенны задачи по направлениям: энергоэффективность, устойчивое развитие, цифровизация, хранение электрической энергии, Интернет вещей, облачные технологии. Все эти области являются нетрадиционными для рассматриваемого сектора. В связи с этим их развитие в существенной степени зависит от успешного взаимодействия традиционных игроков, составляющих технологический и инфраструктурный базис электроэнергетики, и новых участников, предоставляющих различные услуги – как традиционным участникам, так и конечным потребителям.

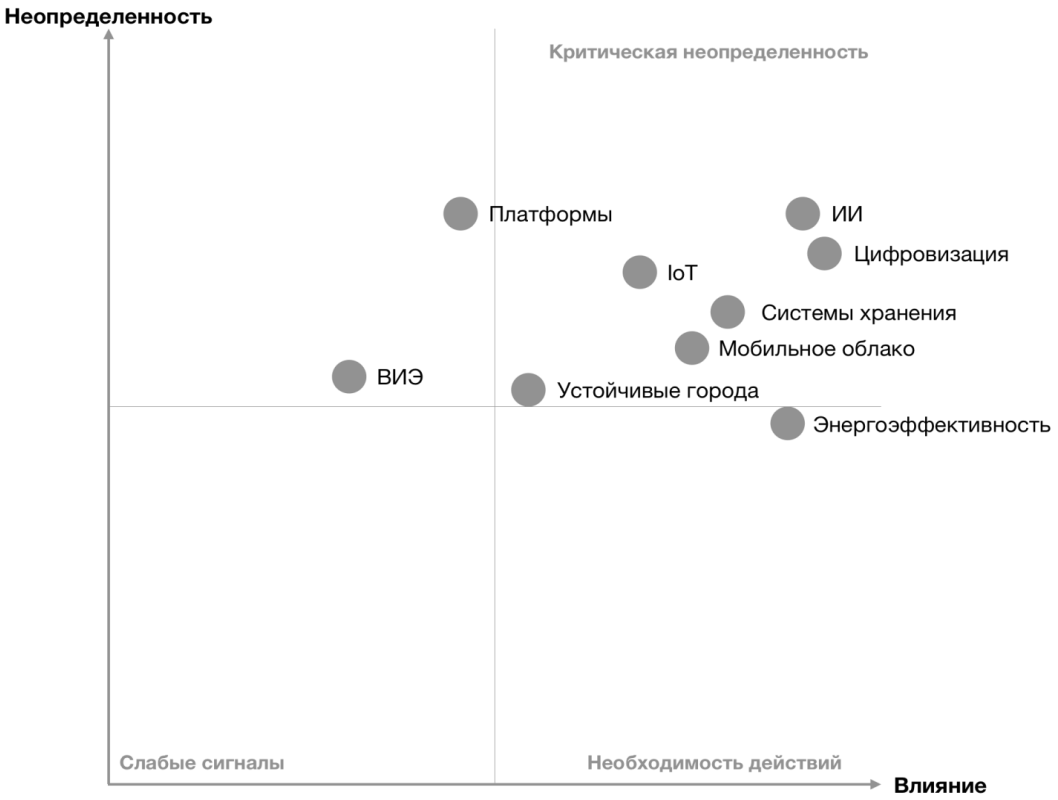

Рис. 1.18. Матрица вызовов, стоящих перед электроэнергетической отраслью РФ
(источник – [68])

При этом в последние два десятилетия в экономике во многом стихийно развивалась собственная генерация просьюмеров в электро- и теплогенерации, чему способствовал рост цен, сложности с технологическим подключением к энергосетям, низкое качество услуг. В отличие от других стран просьюмеры, владеющие микро- и малой генерацией, часто не получали возможность участвовать в энергосистеме для продажи излишков производимой энергии, но владельцы крупных станций (промышленные предприятия) были директивно выведены на оптовый рынок, что не всегда соответствовало их интересам.

Дополнительные сложности связаны с нерешенными во время переходного развития экономики проблемами:

– перекрестным субсидированием потребителей электроэнергии и тепла, что в свою очередь вызвано структурной несбалансированностью и значительной дифференциацией доходов в экономике в целом;

– неплатежами, что также имеет отношение к структурной неустойчивости экономики и неэффективному менеджменту.

Таким образом, развитие интеллектуальной энергетики российской экономики в целом идет, но медленно и фрагментарно по сравнению с зарубежными странами. Энергетический переход также своеобразен, развивается пока неторопливо, во многом как реакция на международные соглашения по экологии и климату и обычная модернизация традиционной энергосистемы.

Тем не менее, к настоящему времени уже сделаны следующие заделы для развития интеллектуальной энергосистемы в России [3, 48]:

– принят «Прогноз научно-технологического развития РФ на период до 2030 года»;

– реализуется дорожная карта EnergyNET, действуют ее рабочие группы и экспертные площадки;

– реализуются пилотные проекты по интеллектуальной энергетике, в том числе по microgrids, автономным энергетическим комплексам в Единой энергетической системе России;

– создана отечественная база для производства ряда технологий ВИЭ (ВЭС, СЭС) и стимулы для развития генерации ВИЭ, но этот сектор растет медленно и его масштаб мал;

– начато развитие генерации на основе вторичных источников энергии и мусора;

– внедряются механизмы управлением спроса потребителей, интеллектуального учета и интеграции распределенной генерации в объединенную энергосистему, но масштаб их пока незначителен;

– разработан российский стандарт промышленного Интернета вещей «Information technology. Compatibility requirements and model for devices within IIoT systems», одобренный международной организацией по стандартизации ISO/IES;

– созданы стимулы для повышения энергоэффективности зданий, городского хозяйства, хотя это направление пока мало увязано с развитием ИЭС;

– формируются первичные экосистемы интеллектуальной энергетики на микроуровне;

– началось развитие водородной энергетики.

Развитие инновационных направлений и создание интеллектуальной энергосистемы, как и в развитых странах, может стать выходом на новый виток эволюционного развития электроэнергетики, экономики и общества. На базе синергии эффектов от интеграции инновационных энергоэффективных и интеллектуальных решений, включения потребителей в активные участники энергосистем, развития благоприятной среды для взаимодействия, креативной и инновационной деятельности может произойти революционный качественный скачок в развитии электроэнергетики, экономики, общества и гармонизация отношений с природой.

В случае России существуют особенности институтов и экономических и систем. Это обусловлено историческим опытом советского периода, поскольку тогда были созданы многие активы отечественной экономики и энергетики на базе коллективной или государственной собственности и нормированных цен, возникли многие практики в деятельности по эксплуатации энергосистемы. С учетом последующего развития в условиях

рыночной модели и переходного периода сложилась гибридная структура институтов, которая продолжает эволюционировать, испытывая в последние полтора десятилетия сильное влияние государства. Также спецификой для России является более высокая централизация технологических решений, чем в большинстве зарубежных стран, широкая распространенность масштабных интегрированных решений и комплексных энергосистем на уровне городов.

Можно отметить следующие особенности:

– слабее некоторые экономические институты, чем в ведущих развитых странах;

– нуждающаяся в модернизации и повышении эффективности и конкурентоспособности социально-экономическая модель с многочисленными хроническими проблемами;

– многообразная мощная культура, включая традиции выживания и развития в сложных условиях;

– есть собственная научная, промышленная базы, их модернизация не завершена, кризисные тенденции не завершены, в том числе связанные со сменой поколений;

– обеспеченность энергоресурсами, в том числе для альтернативной, возобновляемой, водородной энергетики, а также многими прочими ископаемыми и природными ресурсами;

– недостаток источников капитала и долгосрочных инвестиций при хроническом оттоке капитала и противоречивом инвестиционном климате;

– доступ к финансовым и инновационным технологическим рынкам затруднен в силу политических причин (санкции).

Инновационному развитию электроэнергетики уделялось большое значение в прошлом, на стадии индустриального догоняющего развития, и в чем были значительные достижения, в том числе:

– развитие теории и практики по вопросам развития сложных энергетических систем и управления ими (создание Единой энергетической системы в стране и системы диспетчерского управления);

– лидерские позиции в развитии атомной энергетики;

– создание мощной инфраструктуры в электроэнергетической системе, но неравномерно развитой на обширной территории страны;

– значительный опыт коэволюционного развития экономики и электроэнергетики в условиях плановой экономики, централизованного управления и государственной собственности, в котором проявлялось недостаточное внимание к проблемам экологии, энергоэффективности;

– долгосрочные устойчивые механизмы взаимосвязанного развития экономики городов, промышленности и энергетики;

– широкое применение интегрированных решений (системы централизованного теплоснабжения на базе ТЭЦ);

– общая система стандартов и технических требований, зрелая нормативная база в электроэнергетике;

– развитая система высшего и специального образования по разным направлениям энергетики;

– высокий уровень компетенций и культуры для обеспечения живучести и устойчивости энергоснабжения и поддержания жизнедеятельности экономики и общества, созданный в условиях: ряда катастрофических[3] и сложных[4] испытаний страны; нескольких типов климата, в том числе резко континентального и арктического; значительного разнообразия социо-экономических, культурных, урбанистических, природных различий на региональном и местном уровне; разнообразия условий для развития энергосистем в зонах энергоснабжения (централизованные, децентрализованные, изолированные); применения широкого спектра технологий, включая централизованную и распределенную энергетику.

Это сформировало в профессиональном сообществе энергетиков высокий уровень культуры и компетенций: глубокое понимание своей миссии и ее гуманитарную направленность, профессиональную и техническую подготовленность, ответственность, обучаемость, креативность в сочетании с дисциплиной и развитыми механизмами отраслевого взаимодействия.

Одновременно с этим в развитии электроэнергетики копились проблемы и проявлялись системные недостатки общества и экономики в целом, вызванные, в том числе, концентрацией на решении задач выживания и обеспечения устойчивости энергоснабжения в условиях перехода экономики от плана к рынку:

– низкое внимание к вопросам энергоэффективности и защиты окружающей среды;

---

[3] В 1914–1917 гг. – форсированное развитие отечественного производства оборудования для электроэнергетики в условиях военных ограничений на импорт электротехнического оборудования. Около 1920 г. – разработка плана ГОЭЛРО, комплексного плана развития экономики и энергетики. В 1927–1940 гг. – быстрое развитие региональных энергосистем и строительство крупных объектов гидро- и тепловой генерации. Во время Великой Отечественной войны – эвакуация значительной части энергосистемы во второй половине 1941 г. с последующим быстрым вводом объектов генерации на новых площадках; создание объединенного диспетчерского управления для объединенной системы на Урале в 1942 г.; применение нестандартных, нештатных и прочих инновационных решений при существенных ресурсных ограничениях в ходе решения проблем развития энергосистем в ходе Великой Отечественной войны.

[4] Во время перехода от плановой к рыночной экономике в 1988–2010 гг. – изменение отраслевой структуры и системы управления в электроэнергетике в 1988, 1994, 1996, 2003–2011 гг.. Отделение энергосистем бывших союзных республик и разделение системы управления ими в начале 1990-х гг., поддержание финансовой устойчивости социально-экономической системы в условиях перехода за счет допуска роста дебиторской задолженности потребителей. Развитие в условиях нерешаемой проблемы неплатежей и перекрестного субсидирования между различными категориями потребителей. Создание оптового и розничного рынков электроэнергии и рыночной инфраструктуры, конкурирующих энергокомпаний в секторе генерации электроэнергии в ходе разделения монопольной энергетической компании ОАО РАО «ЕЭС России» в 2003–2011 гг.

– недостаточное знание передовых тенденций развития мировой экономики и энергетики;

– низкий уровень клиентоориентированности (узкое понимание вопросов надежности энергоснабжения, сложности в развитии инновационных направлений и их коммерциализации и масштабировании);

– недооценка и невнимание к проблемам активного участия потребителей в энергосистемах;

– значительная роль нерыночных механизмов и нерыночных цен в электро- и теплоэнергетике, инерционный подход к развитию энергетики;

– перерасход топлива в условиях стихийной децентрализации теплоэнергетики, а затем и электроэнергетики;

– пассивное отношение регуляторов энергетики и экономики к реализации потенциала развития распределенной генерации в нескольких секторах экономики (системы централизованного теплоснабжения малых городов, промышленность, сельское хозяйство и т. д.);

– концентрация развития рыночных отношений на оптовом рынке электроэнергии при медленном изменении нерыночных отношений в рознице, а также на рынках тепла.

В российской экономике существует комплекс проблем, создающих сложные условия для развития ИЭС, которые формируют трек социотехнического перехода, затрудняющего прорывное развитие. Можно отметить следующие [48]:

– нестабильность макроэкономики;

– проблемный инвестиционный климат;

– импорт части ключевых технологий и многих инновационных и прорывных решений;

– низкий уровень доверия между экономическими агентами;

– недостаточная согласованность развития экономики и энергетики, особенно с учетом развивающейся цифровизации;

– короткий горизонт или отсутствие стратегического планирования у многих экономических агентов.

Хотя система принятия решений значительно изменилась и стала децентрализованной, общий подход к рассмотрению проблем энергетики во многом остается пока устаревшим. В этих условиях отчетливо проявляются [3, 48]:

1) рост требований к электроэнергетике в условиях развития цифровизации;

2) узкий экспертный круг по вопросам развития энергетики и энергосистем; сравнительно низкий уровень осведомленности об инновационных тенденциях развития энергетики у специалистов по другим направлениям;

3) фрагментарное внимание к развитию трендов 3D в стратегических документах развития экономики;

4) разработка дорожной карты перехода к интеллектуальной энергетики в России с ориентацией на традиционных участников энергосистемы [53];

5) государственная энергетическая политика направлена в сторону интересов крупных энергокомпаний, что тормозит разработку стратегии энергетического перехода и развития инновационных направлений в энергетике и создания интеллектуальной энергосистемы с участием потребителей;

6) медленное совершенствование рыночных механизмов в электроэнергетике и энергетике в целом;

7) недостаточное стимулирование активных стратегий потребителей энергии, а также развития умных энергосистем в городах с участием потребителей.

Необходимо также обратить внимание на следующие культурные особенности:

– по отечественной традиции и в отличие от развитых стран, в постановке задач фокус делается на технических решениях [53], а не взаимодействии с потребителями, хотя косвенно речь идет о создании новой ценности для них;

– выработка стратегии развития и ключевых решений в инновационной сфере, в том числе в электроэнергетике, идет в условиях информационной асимметрии, когда зарубежный опыт трансформации и энергоперехода рассматривается с позиций угроз, но недостаточно учитываются выигрыши, поскольку они на первых стадиях развития достаются потребителям, а не производителям энергии и углеводородного топлива;

– развитие собственной генерации потребителей стало сильным самозародившимся трендом в условиях роста цен на энергию для потребителей энергосистем, а также распространения проблемы перекрестного субсидирования, но он мало учитывается в стратегическом развитии из-за нежелательности этого направления для участников традиционной энергосистемы;

– большое значение придается вопросам развития новых экспортных направлений на базе ЭнерджиНет[5] [70], но вопросы повышения энергоэффективности и выхода на траекторию устойчивого развития подразумеваются косвенно, а не рассматриваются явно и в первую очередь.

В этой ситуации есть риски уйти на трек развития с узкими возможностями технократического развития производственного сектора, что в результате приведет к развитию инновационного направления при нераскрытом и нереализованном потенциале от участия экономики и повышенных капитальных расходах.

Текущий этап развития электроэнергетики можно назвать переходным не только потому, что идет смена технологического базиса, но и в том смысле, что дальнейшее развитие сектора может следовать по различным

[5] Российские компании, по экспертным оценкам, могут занять 6 процентов на рынках Energynet (BRICS+), что составит 41 млрд долл. США [69].

сценариям (сохранение доминирующего положения традиционных игроков; существенное повышение роли нетрадиционных участников; симбиоз взаимодействия традиционных и новых участников отрасли).

Тем не менее, неоспоримым является тот факт, что отрасль существенным образом меняется: появляются новые сегменты, новые участники, повышается роль конечного потребителя. Это в свою очередь приводит к структурной трансформации отрасли – как в части технологий, так и в части механизмов взаимодействия участников.

В области энергетики реализуется национальная технологическая инициатива «ЭнерджиНет», направленная на развитие рынка оборудования, программного обеспечения, инжиниринговых и сервисных услуг для разномасштабных комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики [69, 70].

1.3. Механизмы стимулирования развития интеллектуальной энергетики

1.3.1. Стимулирование развития интеллектуальной энергетики за рубежом

В *развитых* странах в последние годы наиболее активно развивается тренд к стимулированию перехода на интеллектуальную энергетику. Среди применяемых инструментов наиболее широко распространенными являются:

– налоговые льготы – как для поставщиков, так и для конечных потребителей, которые используют ВИЭ и/или умные технологии;

– создание специализированных ассоциаций, занимающихся вопросами юридического урегулирования, написания программ стимулирования, поиска и презентации лучших практик, и служащих платформой для взаимодействия бизнеса и политики в вопросах развития активных энергетических стратегий;

– различные способы «навязывания» использования интеллектуальной энергетики через законопроекты, штрафы и льготы, через проведение пиар- и маркетинговых мероприятий;

– переоборудование уже существующих мощностей путем установки умных счетчиков на линии электропередач и в здания, установка на производстве солнечных и ветровых генераторов наряду с традиционными, установка солнечных батарей и т. д.

В *развивающихся* странах также четко прослеживается тренд внедрения подобных технологий, хотя инструменты, используемые для этой цели, менее разнообразны по сравнению с таковыми в развитых странах. Зачастую внедрением ВИЭ или умных сетей в бедных странах занимаются

государство и их зарубежные партнеры из более развитых стран, инвестируя в программы по улучшению безопасности климата и сохранения окружающей среды, включающую в себя, например, установку солнечных или ветрогенераторов на замену дизельным (которыми пользуется подавляющее большинство населенных пунктов в данных странах, находящихся на отдалении от центральных электросетей).

Также распространена практика перехода на умное использование отходов, путем превращения их в биотопливо для генерации электроэнергии. Учитывая специфику климатических условий в теплых неразвитых странах, там успешно создаются проекты по использованию солнечной энергии – хотя и довольно точечно.

На государственном уровне также существует большое количество разнообразных программ развития ВИЭ – но реальная отдача от них бывает не всегда. На развитие ВИЭ, как и интеллектуальных сетей, влияет большое количество факторов (табл. 1.7). Безусловно, описать все практики реализации и перехода довольно затруднительно, поэтому в данных частях будут приведены примеры и обзоры различных практик по группам производителей или потребителей, которые, однако, являются типичными представителями паттернов, встречающихся в разрезе данных аудиторий или групп потребителей.

Эксперты считают, что мировое потребление электроэнергии, в зависимости от сценариев, за следующие несколько десятков лет может увеличиться более чем в 2,5 раза. Причем в различных регионах мира способы управления этим процессом также могут отличаться. Например, в странах ОЭСР, где темпы роста не очень велики, но наблюдается высокий уровень текущего спроса, интеллектуальные технологии могут обеспечить значительные преимущества за счет снижения потерь при передаче и распределении электроэнергии через оптимизацию существующей инфраструктуры [28].

Важным трендом является развертывание прямой торговли между близлежащими регионами технологиями переменной электроэнергии. Одним из таких успешных кейсов является скандинавская энергетическая система (рис. 1.19), где значительные межсистемные и хорошо функционирующие рынки между регионами позволяют активно внедрять ветровую электроэнергетику. Интеллектуальное управление этими сетями позволит решить сложные проблемы перетока на обширной территории [28].

Более того, в Европейском союзе в целом довольно быстро разворачивается система развития распределенной генерации. Сложность зачастую заключается в том, что развитие нормативно-законодательной базы идет с отставанием, что затрудняет обеспечение необходимых условий для внедрения инноваций в данном секторе и учесть запросы новых участников рынка.

Таблица 1.7

Факторы, влияющие на развитие ВИЭ и интеллектуальных сетей

Категория	Факторы
Геополитические	– зависимость от действий других государств (располагающих большими запасами энергоресурсов)
Экологические	– эмпирически доказанная зависимость глобального потепления от выбросов CO_2 в атмосферу, сопутствующее добыче и переработке энергетических ресурсов; – потенциальные (а в некоторых развивающихся странах и реальные) возможности полезной утилизации различного рода отходов
Социальные	– потенциальное повышение безопасности населения, вызванное сокращением степени использования АЭС и переходом на ВИЭ; – изменение экономической модели потребления энергетических ресурсов – развитие концепции «просьюмеров»; – положительное отношение к различного рода «зеленым» технологиям – как со стороны общественности, так и со стороны регуляторов
Технологические	– трансфер технологий как из смежных, так и из отдаленных по отношению к энергетике технологий
Экономические	– снижение постоянных и переменных издержек эксплуатации объектов ВИЭ по мере увеличения отдачи от масштаба и дальнейшего развития технологии повышения их эффективности; – развитие интеллектуальной энергетики (включая различные интеллектуальные приборы учета и сопутствующие сервисы) как отдельной отрасли экономики с высокой маржинальностью деятельности, что выражается в выгоде для трех ключевых групп стейкхолдеров: ▪ государство получает повышенные налоговые отчисления и создание дополнительных высокопроизводительных рабочих мест; ▪ потребители этих услуг получают экономические выгоды (повышенную отдачу на вложенные средства); ▪ население получает более широкие возможности для трудоустройства
Законодательно-нормативные	– необходимость соблюдать различные международные договоренности по снижению выбросов углекислого газа и воздействия на окружающую среду, что приводит к внедрению гибких и/или «зеленых» тарифов и/или налоговых ставок, а также к «мягкому (экономическому) навязыванию использования «умных» технологий

Популяризацией темы перехода к интеллектуальной энергетике активно занимается Международное энергетическое агентство (IEA). Особое внимание уделяется:

– содействию развития надежных и достаточных запасов всех видов энергии в странах-членах организации;

– развитию энергетической политики, направленной на охрану окружающей среды и предотвращение негативных изменений климата (например, сокращение выбросов парниковых газов);

– прозрачности рынков через сбор и анализ международных данных об энергии.

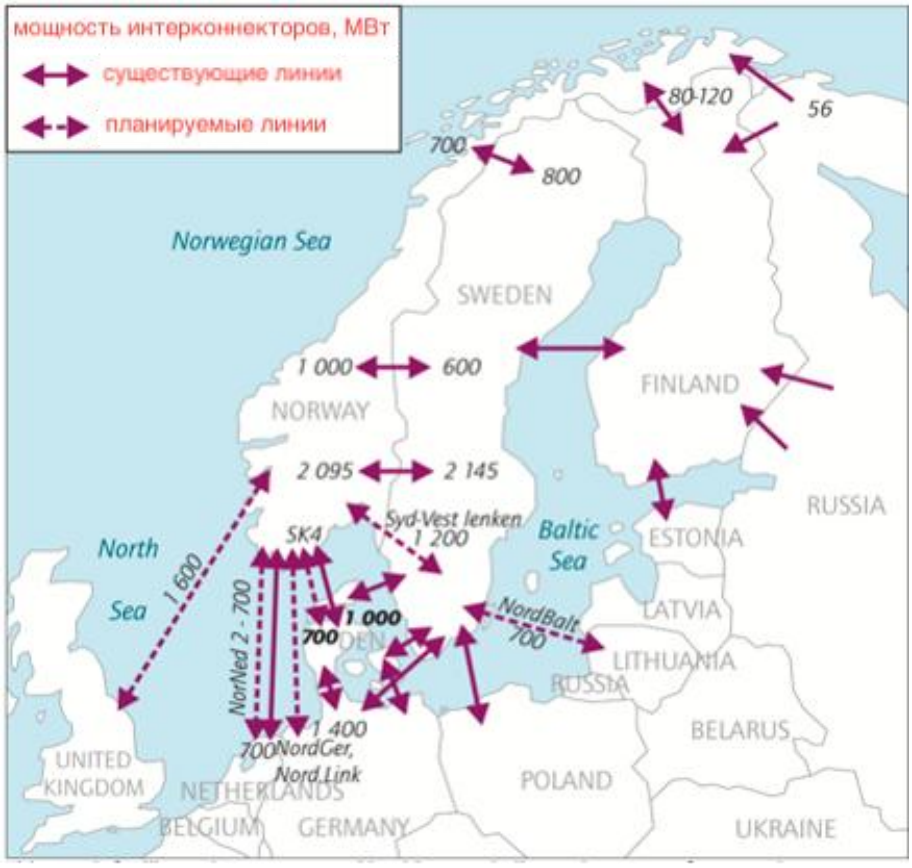

Рис. 1.19. Передача электроэнергии между странами Скандинавского региона (схематично) (заимствовано из [28])

Среди прочего, агентство разрабатывает дорожные карты развития отрасли, в том числе по направлению интеллектуальных сетей, которые нацелены на повышение понимания среди широкого круга заинтересованных сторон основ, функций, затрат и преимуществ, связанных с использованием таких сетей, а также на определение наиболее важных действий в развитии технологий и политик достижения глобальных энергетических и климатических целей [28]. В рамках разработки карт проводится множество международных совещаний и семинаров, связанных с финансированием подобных решений, клиентской политикой, развитием НИОКР и пр.

Помимо IEA в мире существует множество организаций, занимающихся смежными проблемами: The International Smart Grid Action Network (ISGAN), The Global Smart Grid Federation (GSGF), APEC Smart Grid Initiative, The European Electric Grid Initiative (EEGI) и European Energy Research Alliance Joint Programme (EERA JP).

Вопросами разработки технических стандартов занимается большое количество сотрудничающих между собой международных организаций. В Соединенных Штатах Национальный институт стандартов и технологий (NIST) возглавляет крупную программу координации для интеллектуальных сетей (Interoperability Framework). NIST сотрудничают со многими другими странами, которые работают над решениями для интеллектуальных сетей, чтобы разделить затраты на научные изыскания и содействовать сотрудничеству. Для подобной цели была создана специализированная независимая организация – Smart Grid Interoperability Panel (координирует работу более 20 организаций по разработке стандартов). Почти 600 компаний и организаций из разных стран мира являются ее членами.

В Европе существует «Европейская Совместная рабочая группа по стандартизации интеллектуальных сетей». Япония разработала первоначальные стандарты, дорожную карту для интеллектуальных сетей и также сформировала организацию «Smart Community Alliance», которая расширила концепцию интеллектуальных сетей за пределами электрической системы, чтобы охватить вопросы энергоэффективности в управлении другими ресурсами (вода, газ, транспорт и пр.). Правительство Кореи объявило о планах по созданию национальной интеллектуальной сети и начинает работу над стандартами дорожной карты. В Китае Государственная электросетевая корпорация разработала проект и дорожную карту для стандартизации компонентов интеллектуальных электроэнергетических сетей.

Отдельным трендом является переход на производство новой электроэнергии в странах ОПЕК – на территориях, где стоимость полезных ископаемых крайне невысока, а климатические условия открывают огромные возможности для ВИЭ. Ярким примером является Саудовская Аравия, удельный вес использования нефти для генерации электрической энергии у которой является одним из самых высоких в мире (по некоторым оценкам текущих запасов хватит на 20–25 лет – с учетом сложившегося уровня потребления). В данной связи правительство стало уделять большое внимание возобновляемым источникам энергии. В стратегии развития страны «Vision-2030» предполагается программа развития ВИЭ практически с чистого листа – компания «Saudi Aramco» собирается инвестировать в компании, занимающиеся производством чистой энергии 5 млрд долларов, а Национальная программа развития ВИЭ включает в себя создание 9,5 ГВт мощностей солнечной и ветровой энергии уже к 2023 г. ОАЭ, в свою очередь, до 2050 г. планируют в совокупности инвестировать в чистую энергию около 163 млрд долл. с целью доведения ее удельного веса в общем объеме генерации до 50 %. Тенденцию подобного перехода поддерживает Алжир и Катар, где в ближайшие 15 лет будут воплощены мегапроекты в области солнечной энергетики – причем многие из них будут финансировать компании нефтегазового сектора [71].

В последнее время широко распространился тренд к снижению стоимости электрической энергии, полученной из «зеленых» источников. В США солнечная и ветровая энергетика становятся более экономичными, чем традиционные источники. Происходит серьезное снижение цен на электроэнергию, сгенерированную на солнечных установках в ОАЭ, Перу, Мексике, Евросоюзе. Это происходит потому, что затраты на выработку самого электричества, по сути, незначительны, основная нагрузка имеет место на этапе инвестирования [72].

Что же касается России, то существует мнение, что в то время как страны ЕС, Азия и Китай планомерно трансформируют свою энергетическую систему, у России на 2014 год не была разработана система стимулирования технологий «зеленой» энергетики, что может привести к серьезному отставанию страны по отношению к мировому рынку.

Практически все развитые страны в настоящее время формируют собственный путь использования потенциала гибких энергетических стратегий. Ниже будет рассмотрен ряд примеров успешной реализации подобных практик.

Китай

Китайское правительство разработало долгосрочный план стимулирования инвестиций в системы водоснабжения, сельские инфраструктуры и электросети – в том числе значительные инвестиции в интеллектуальную энергетику. Интеллектуальные сети рассматриваются как способ снижения потребления энергии, повышения эффективности сети и степени использования технологий возобновляемой энергетики. Государственная электросетевая корпорация Китая [73] несколько лет назад запустила программу внедрения интеллектуальных сетей с планом развития до 2030 г. Ожидается, что она позволит привлечь инвестиции в размере 96 млрд долл. в 2020 г. [73].

США

В соответствии с Законом об оздоровлении американской экономики и реинвестированием в нее от 2009 г. [74], было выделено 4,5 млрд долл. на модернизацию электросетей. В том числе:

– 3,48 млрд долл. было инвестировано в интеграцию апробированных интеллектуальных технологий в существующую инфраструктуру сетей;

– 435 млн долл. выделено на демонстрацию новых технологий в регионах;

– 185 млн долл. инвестируется в мероприятия по популяризации технологий хранения электрической энергии.

В Америке существует специальная система грантов для проектов по интеллектуальным сетям от департамента энергетики The U.S. Department of Energy’s Smart Grid Investment Grant (SGIG) [75], по которо-

му получили финансирование 99 организаций (по данному гранту существует возможность получения финансирования объемом до 50 % стоимости проекта). Общий эндаунмент-фонд программы составляет 8 млрд долл.

Одна из некоммерческих организаций США – Smart Grid Consumer Collaborative (SGCC), посвященная распространению информации об интеллектуальных сетях и их преимуществах, а также поощрению лучших практик во внедрении современных технологий в энергетике, предлагает задействовать возможности политического воздействия: например, через изменения в тарификации или льготах в рамках программ, связанных с распространением умных сетей.

Италия

Основываясь на успехе первых проектов в отрасли (например, Telegestore), итальянский регулятор Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas получил финансирование на проекты, посвященные активным распределительным системам среднего напряжения в масштабе расширенного сетевого управления и автоматизации процессов по интеграции распределенной генерации.

Кроме того, Министерство экономического развития выделило более 200 млн евро на модернизацию сети в южных регионах Италии и развитие ее интеллектуальных функций.

Япония

Федерация электроэнергетических компаний Японии разрабатывает проекты интеллектуальных сетей, включающие в себя объекты генерации солнечной энергии с планами по их внедрению к 2020 г. – с привлечением правительственных инвестиций на сумму в более чем 100 млн долл. Кроме того, правительство Японии объявило конкурс на разработку интеллектуальных энергетических технологий для крупных предприятий.

Южная Корея

Корейское правительство запустило пилотную программу на 65 млн долл. на острове Чеджу в сотрудничестве с крупными промышленниками. Программа представляет собой внедрение полностью интеллектуальных систем для 6000 домохозяйств, развитие ветрогенераторов и 4 распределительных линий. В национальном масштабе внедрение интеллектуальных сетей предполагается к 2030 г.

Испания

В 2008 г. правительство начало работу с распределительными компаниями, чтобы заменить существующие сети на новые с интеллектуальными счетчиками, причем сделано это должно быть без каких-либо дополнительных затрат для клиента. Программа энергетической компании Endesa направлена на развертывание автоматизированного управления сетями на более чем 13 млн клиентов в сети низкого напряжения с 2010 до 2015 гг., базируясь на последнем опыте итальянской программы ENEL.

Германия

В стране существует программа финансирования E-energy, которая включает в себя несколько проектов, связанных с ИКТ в энергосистемах. К 2015 г. в стране солнечные батареи производили столько же электроэнергии, сколько и на атомных станциях. Помимо этого развиваются направления генерации с помощью ветра, биомассы и воды [76].

Великобритания

Британский энергорегулятор OFGEM запустил инициативу под названием «Registered Power Zone», которая будет стимулировать распределительные компании к разработке и внедрению инновационных решений для подключения к сети распределенных генераторов.

Компания OFGEM создала фонд «Low Carbon Networks», который располагает 50 млн фунтов стерлингов для инвестирования в проекты по распространению умных сетей [77] .

Кроме того, к 2020 г. правительство Британии с целью сокращения выбросов парниковых газов поставило задачу перехода на возобновляемые источники энергии для отопления – с тем, чтобы их доля составляла 12 % от общего числа. Реализация предполагает постепенную замену старых газовых и нефтяных котлов на современные возобновляемые альтернативы вроде воздушных или земляных тепловых насосов, солнечных тепловых панелей или бойлеров на биомассе. Для этого правительство вводит программу Renewable Heat Incentive (RHI), обеспечивающую финансовую поддержку (общим объемом 860 млн фунтов стерлингов) для тех потребителей, которые переходят на новые технологии. Данная программа нацелена как на домохозяйства, так и на частный, государственный и некоммерческий секторы.

Также в Великобритании распространена практика наложения социальных обязательств на поставщиков электроэнергетики. Так, по одной из подобных программ, поставщики обязаны иметь в структуре своих генерирующих мощностей определенную долю ВИЭ либо уплачивать штраф. Другая предполагает, что крупнейшие поставщики энергии возмещают некоторые затраты небольшим компаниям, которые занимаются ВИЭ [78].

Бразилия

В стране реализуется несколько крупных проектов. Ассоциация APTEL работает с правительством Бразилии по проектам испытания узкополосных линий электропередач. Распределительная компания в Рио-де-Жанейро «Ampla», принадлежащая испанской компании «Endesa», внедряет интеллектуальные счетчики и безопасные сети, чтобы уменьшить потери от незаконных подключений.

«AES Eletropaulo», распределительная компания Сан-Паулу, разработала умные сети с использованием существующей оптоволоконной сети.

1.3.2. Механизмы развития интеллектуальной энергетики в России

Изменение электроэнергетики влечет за собой необходимость объединения действий широкого круга участников. Необходимо:

– привлечение технической экспертизы в различных отраслях;

– аккумулирование финансовых ресурсов для реализации проектов;

– выстраивание навыков сбора и обработки данных для принятия решений;

– развитие и совершенствование механизмов долгосрочного развития энергетики и экономики.

Синергетический эффект от взаимодействия экономических агентов на базе интеллектуальных решений может принести результаты по следующим ключевым направлениям: развитие партнерства, новые знания и новая продукция, усложнение организационной структуры [79].

В процесс трансформации вовлечены институциональные участники (задающие правила игры и координирующие действия участников отрасли), политики, процедуры и концепции развития (стратегии энергетических компаний, юридические фреймворки, политики и программы, механизмы ценообразования, рыночные правила, системные протоколы), а также оборудование и инфраструктура участников (генерирующие объекты, сети, хранилища, распределенные источники энергии и пр.).

Механизмы взаимодействия экономических агентов в условиях развития ИЭС в России в значительной степени ориентированы на традиционное сотрудничество крупных компаний, часто контролируемых государством, отраслевого экспертного сообщества, органов государственного управления на федеральном и региональном уровне.

Взаимодействие между компаниями, вовлеченными на данном этапе в инновационную работу, неустойчивы и часто ограничены двусторонними контактами между производителями энергии и их подрядчиками [53]. В деятельности EnergyNET также пока в основном принимают участие энергокомпании и организации инновационного сектора, но не потребители.

Между тем, развитие интеллектуальной энергетики показывает необходимость создания механизмов взаимодействия экономических агентов по следующим направлениям [48], [3]:

1) координация между секторами экономики (электроэнергетической системой, системами централизованной теплоэнергетики, сектором домохозяйств, промышленностью, транспортом в городах и поселениях), а также на общеэкономическом уровне по реализации трендов 3D;

2) интеграция активных потребителей и просьюмеров в энергосистемы;

3) интеграция ценностей, создаваемых производителями, потребителями и другими участниками энергосистемы в цепочках стоимости в интеллектуальной энергетике;

4) развитие механизмов координации для использования вторичных источников энергии для производства энергии;

5) совершенствование механизмов ценообразования в электроэнергетике на электроэнергию, мощность, другие товары и услуги;

6) развитие механизмов управления резервом мощности при переходе к интеллектуальной энергосистеме с участием потребителей;

7) активизация городов как участников интеллектуальной энергосистемы;

8) развитие инновационных экосистем в интеллектуальной энергетике с участием потребителей;

9) развитие органов саморегулирования участников интеллектуальной энергосистемы;

10) адаптация регулирования энергетики и экономики к развитию интеллектуальной энергетики и трендов 3D в энергетике и экономике;

11) разработка в дорожных картах ИЭС механизмов, обеспечивающих реализацию треков для ключевых участников интеллектуальной энергетики, включая разные категории потребителей, на которых они получают положительные эффекты от развития ИЭС на каждом этапе, а также механизмы для согласования интересов ключевых стейкхолдеров при регулярной коррекции дорожных карт и уточнения целевой модели ИЭС.

Механизмы ценообразования на электроэнергию пока мало способствуют инновационному развитию электроэнергетики, хотя при этом реализованы меры, способствующие энергосбережению и росту гибкости спроса, в том числе на розничных рынках внедрены дифференцированные тарифы, умные счетчики. Перейти в ритейле к ценообразованию, приближенному к реальному времени, в российских условиях не так просто по социальным и экономическим причинам, с учетом высокого уровня дифференциации доходов экономических агентов, разброса локальных условий энергоснабжения и энергообеспеченности.

Особенностью[6] России в сфере развития рыночного ценообразования на электроэнергию стали:

– недостаточная гармонизация механизмов ценообразования для когенерации и мультигенерации;

– высокая доля нерыночной составляющей в конечной цене на электроэнергию и тепло;

– нерыночные и недостаточно эффективные механизмы оплаты мощности на КОМ (рынок мощности), сетевого резерва;

– проблема перекрестного субсидирования потребителей;

– неплатежи определенных категорий потребителей;

[6] Другой особенностью для России является общеэкономическая проблема высоких капитальных и транзакционных издержек при строительстве, в том числе и объектов распределенной генерации. Это способствует росту цен на энергию до более высоких уровней, чем могло бы быть

– высокая стоимость технологического присоединения к сети во многих регионах;

– завышенные прогнозы долгосрочного развития спроса на электроэнергию на агрегированном уровне.

Механизмы ценообразования на розничных рынках потребуют дальнейшего развития также в связи с появлением новых категорий участников: накопителей, агрегаторов, электротранспорта и т. д., а также для развития инструментов управления спросом потребителей, они в настоящее время применяются в ограниченных случаях и малом масштабе. Это может способствовать одновременному продвижению к рыночным ценам без их значительного роста для конечных потребителей. Но для этого также потребуется улучшение делового и инвестиционного климата и снижение рисков и транзакционных издержек в российской экономике. Развитие цифровизации открывает для этого новые возможности.

Наконец, в интеллектуальной энергетике цены должны давать стимулы для дальнейшего развития технологий и стратегий участников экономики, в том числе по углублению трендов 3D, распространению технологий ко- и мультигенерации, умных решений. Это также потребует значительной модификации методов ценообразования на другие виды энергии, включению более точной оценки экстерналий экологического и, возможно, социального характера.

Поскольку в условиях развития ИЭС происходит усложнение системы управления, то это ставит такие задачи:

– создание разнообразных экспертных площадок для рассмотрения вопросов ИЭСР, связанных как с энергетикой, так и различными аспектами в развитии социальных и экономических систем на разных уровнях, особенно в городах и поселениях;

– создание широкой информационной среды для взаимодействия, аккумуляции знаний, образования и исследований в различных секторах экономики, энергетики и внешней среды.

Регуляторы и государство в целом проявляют устаревший подход к развитию энергетики, и это тормозит ее развитие и страны в целом. Учитывая разнонаправленный характер изменений в условиях современного развития, необходимо, чтобы выполнение государственных функций в экономике вышло на новый уровень

Препятствия для развития механизмов взаимодействия экономических агентов при развитии интеллектуальной энергетики в России могут быть следующие [48]:

– неготовность экономических агентов к сотрудничеству и интеграции в энергосистемы;

– недостаток компетенций и финансовых ресурсов, инструментов для управления рисками у экономических агентов;

– ограничения телекоммуникационной и энергетической инфраструктуры, другие технологические ограничения;

– нестабильность макроэкономики и условий делового и инвестиционного климата;

– запаздывание с развитием нормативно-законодательной базы.

Бизнес-навыки и способность работы в команде нуждаются в улучшении в инновационном секторе в России в целом, хотя технические умения на хорошем уровне [80]. В этом, возможно, проявляется традиционное внимание в отечественной системе образования к развитию профессиональных технических навыков при меньшем внимании к вопросам взаимодействия, психологии, когнитивных характеристик.

В силу уникальной комбинации исторических и прочих причин российской системе управления присущи следующие характерные особенности [80]:

– краткосрочность перспективы;

– любовь к идеям;

– недостаточность человеческого капитала;

– концентрация власти в руках крупных индивидуальных акционеров.

Глава 2. Структурная трансформация электроэнергетики

2.1. Трансформация электроэнергетики: структура отрасли, состав участников и форматы их взаимодействия

2.1.1. Трансформация электроэнергетики: изменение цепочки создания ценности отрасли

Рассмотренные в первой главе тренды создают благоприятную почву для структурной трансформации мировой энергетической отрасли, формируя условия, в которых интенсивное развитие не только возможно, но и необходимо.

В XXI веке в мировой энергетике происходит ряд параллельных технологических революций, изменяющих базовый уклад функционирования данной отрасли. Широкомасштабное развитие робототехники [19] и связанных с ней технологий, развитие так называемого «аддитивного производства» [81], расширение сфер применения новых материалов и материалов с особыми свойствами, развитие технологий «индустрии 4.0» [24] и прочие приводят к существенному изменению базовых характеристик энергетического оборудования. На горизонте 5–10 ближайших лет ожидается широкое распространение технологий аккумулирования электрической энергии и их массовое коммерческое применение [39].

Текущее состояние электроэнергетики характеризуется постоянными изменениями, что приводит к невозможности применения тех концепций и подходов, которые применялись ранее. Современный этап развития отрасли основан на инновационном развитии и кооперации между разнообразными участниками.

Предыдущие этапы развития электроэнергетики в основном включали постепенные улучшения процессов, повышение эффективности и повышение внимания к вопросам управления активами. Сама отрасль была вертикально интегрирована: существовала понятная однонаправленная цепочка «генерация – передача – распределение – сбыт – потребление» (рис. 2.1).

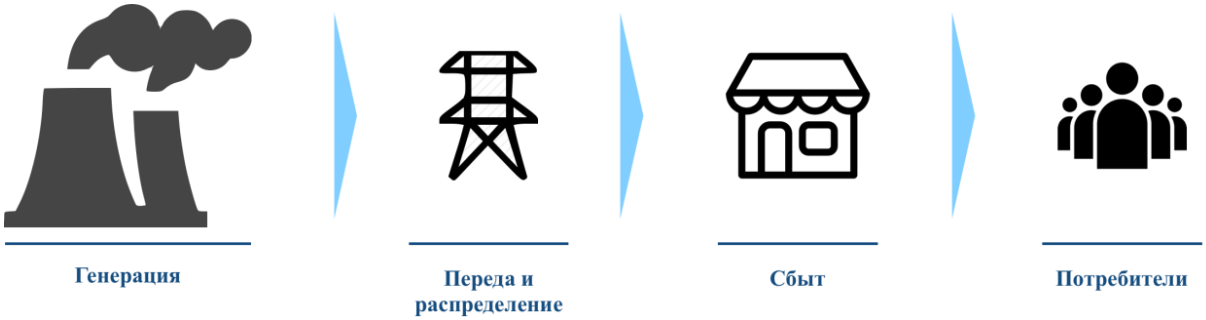

Рис. 2.1. Цепочка функционирования электроэнергетики на предыдущем этапе развития

Тем не менее, начиная примерно с 2000-х гг., как мировая, так и российская электроэнергетика столкнулась с давлением: как со стороны традиционных компаний, чьи активы достигли существенного износа и нуждались в обновлении, для чего были необходимы новые источники получения дохода; так и со стороны новых игроков из других отраслей, которые осознали, что электроэнергетика является привлекательным сегментом с большим количеством потребителей, которые были не удовлетворены тем, как они взаимодействуют со своими поставщиками. В результате в электроэнергетике начали функционировать многие ИТ-компании, предлагая потребителям различные продукты (системы контроля за энергопотреблением, системы регулирования энергопотребления) и услуги (управление спросом, агрегация спроса, ценозависимое потребление). Более того, описанные ранее технологии привели к появлению принципиально нового феномена – «просьюмеризма» (как среди коммерческих потребителей, так и среди домохозяйств). Это существенным образом изменило логику функционирования отрасли, создав обратный поток электрической энергии (рис. 2.2).

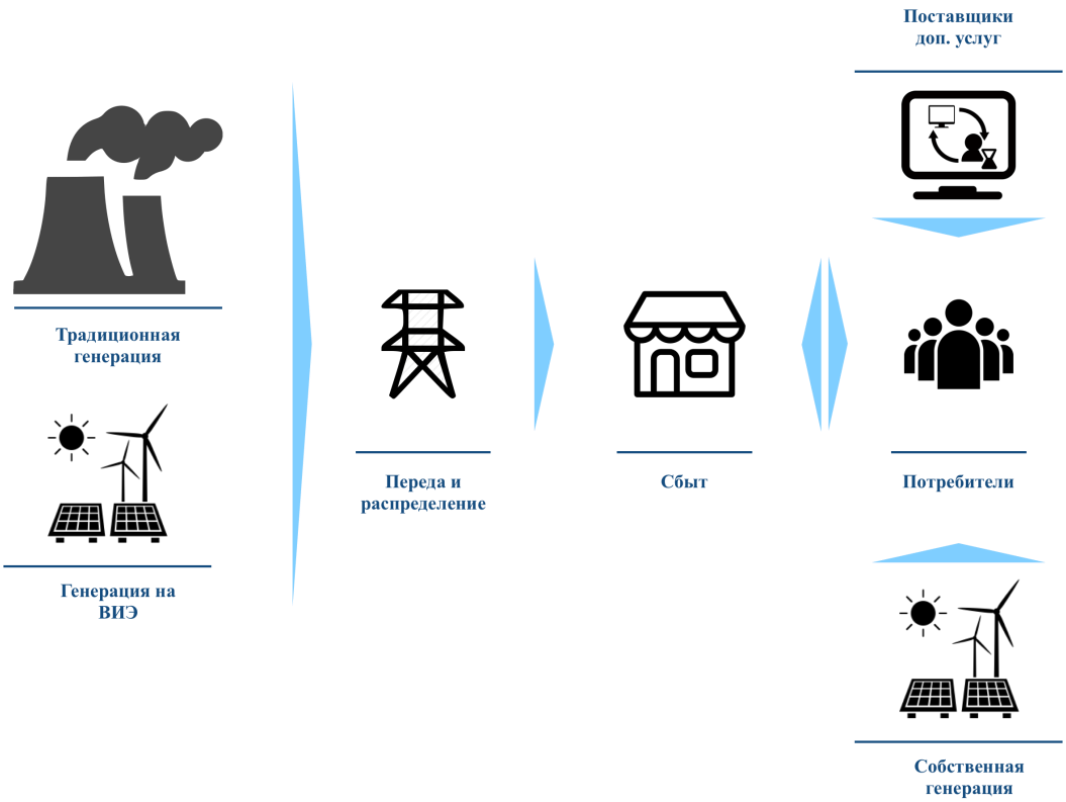

Рис. 2.2. Цепочка функционирования электроэнергии на современном этапе развития

Новая структура отрасли представляет собой децентрализованную систему взаимодействия различных экономических агентов: традиционную базовую генерацию, высокомобильную генерацию и системы накопления электрической энергии, возобновляемую генерацию, операторов сетей, организации, ответственные за сбыт электрической энергии, поставщиков электроавтомобилей, поставщиков систем хранения малой емкости,

агрегаторов, цифровых брокеров, поставщиков услуг энергоменеджмента, организаторов P2P торговли, виртуальные электростанции, поставщиков услуг по управлению спросом (рис. 2.3).

Современная структура электроэнергетического сектора представляет собой генезис централизованной, децентрализованной и расширенной структуры. В ней присутствуют как традиционные участники (генерация, сетевые операторы, сбытовые организации), так и поставщики нетрадиционных услуг (которые могут предоставляться как традиционными компаниями, так и новыми игроками сектора), а также поставщики различных продуктов и услуг для конечных потребителей.

Более того, изменяется сам характер взаимодействия участников. В отличие от прошлых этапов развития сектора, когда имела место однонаправленная цепочка создания ценности (генерация – передача – распределение – сбыт) и распределение ролей было задано техническими аспектами их деятельности, а само взаимодействие было однонаправленным (отсутствовали обратные потоки), в настоящий момент схема взаимодействия участников носит многонаправленный характер.

Распространение различных цифровых технологий, новых бизнес-моделей, расширение потребностей потребителей привели к расширению состава участников процесса генерации, передачи и доставки электрической энергии и сопутствующих сервисов конечному потребителю.

В состав участников отрасли теперь включаются различные потребители (которые начинают принимать активное участие в работе системы), поставщики различных ИКТ-сервисов, чьи решения выступают основой для построения новой структуры отрасли, поставщики различных операционных технологий (включая интеллектуальные измерительные приборы, системы контроля состояния сети и различного оборудования).

Как можно заметить, основным фокусом внимания всех участников процесса становится потребитель и та ценность, которая ему необходима. Результаты проведенного в 2019 г. Bain исследования [83] потребителей электрической энергии показало, что факторы, которые в большей степени влияют на удовлетворенность потребителей, мало связаны с традиционным бизнесом сетевых компаний (рис. 2.4).

Основным источником удовлетворения для потребителей является так называемая первичная услуга – первый контакт с компанией. Для компании критически важно с первых дней работы с потребителем составить о себе хорошее впечатление. Кроме того, потребители в существенной мере ценят наличие возможностей для различного рода управления энергопотреблением, наличие онлайн платформы для управления собственными счетами. В описанных реалиях наиболее устойчивой моделью стратегического развития сетевой компании в рамках традиционного бизнеса будет интеллектуальная оптимизация сети (оптимизация сетей передачи и распределения, предоставление услуг по учету и организации локальных сетей, занятие позиции поставщика данных).

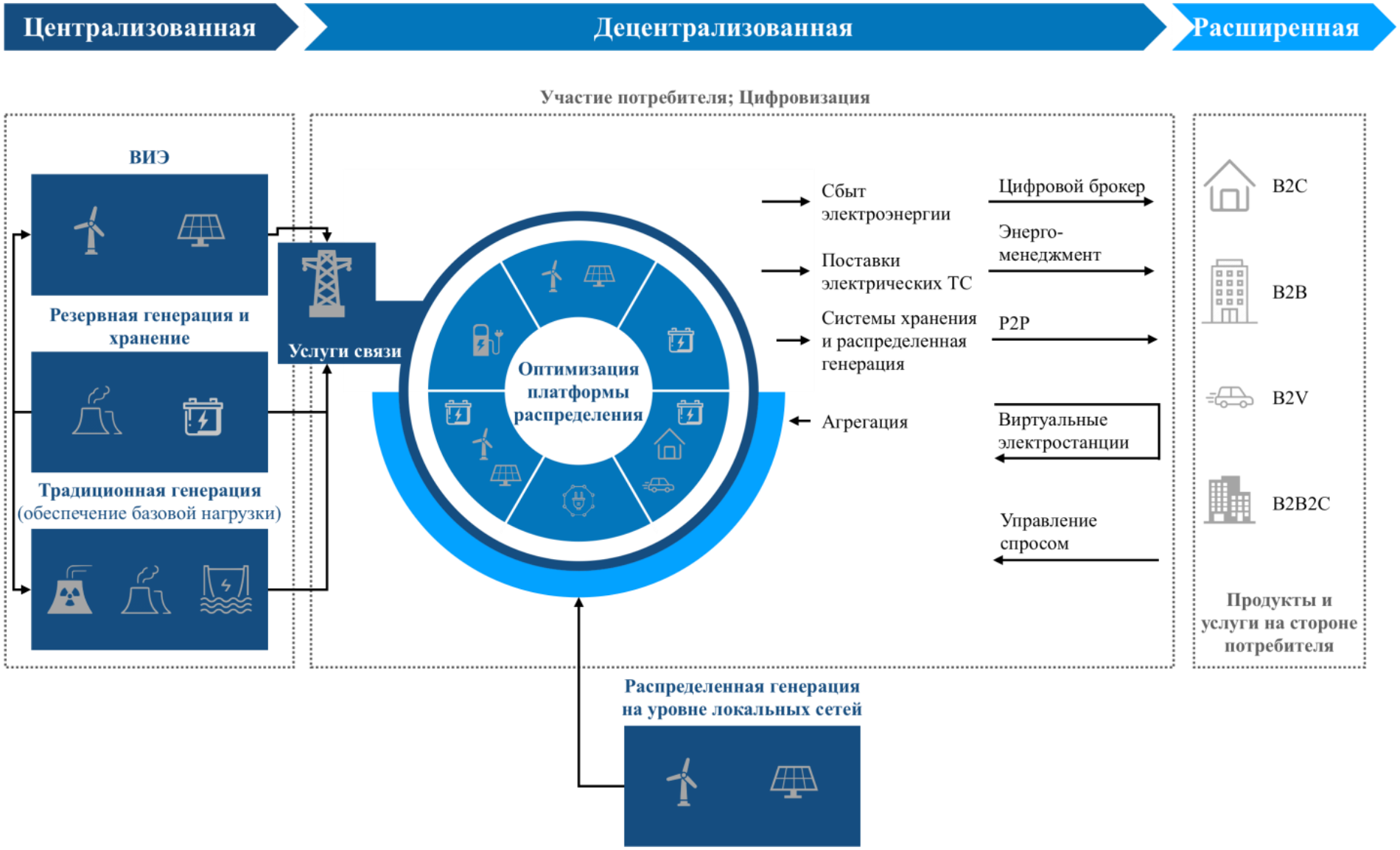

Рис. 2.3. Новая структура электроэнергетической отрасли [82]

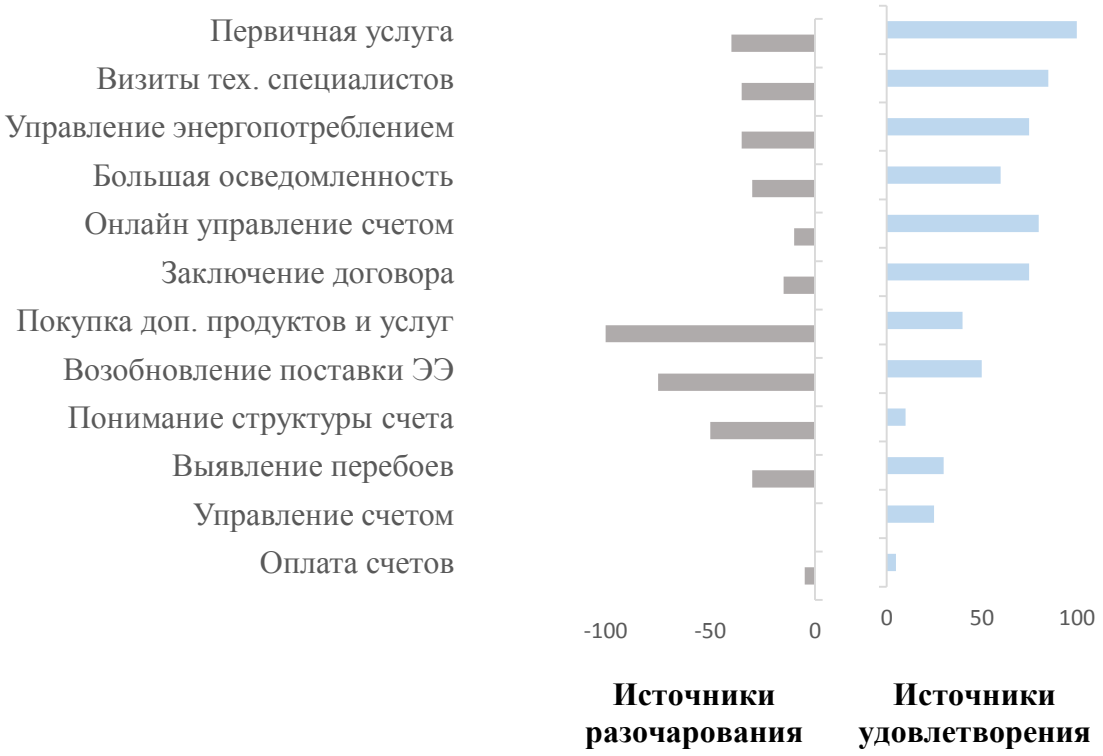

Рис. 2.4. Источники разочарования и удовлетворения потребителей

Описанные ранее тенденции 3D и тенденции развития электроэнергетики свидетельствуют о наличии большого количества ниш в энергетическом секторе, которые в настоящее время не заняты традиционными игроками и являются потенциально привлекательными для новых игроков или новых направлений деятельности прежних участников энергосистем и рынков. В отличие от ситуации, когда поставка электроэнергии рассматривалась как сырьевой товар и существовали три базовых вида деятельности (генерация, передача и распределение, сбыт электрической энергии), в настоящее время в энергетическом секторе появляется большое количество услуг и товаров, являющихся комплементарными, которые востребованы в условиях интеллектуальной энергосистемы (рис. 2.5).

Серым цветом помечены участники, которые учитываются в рамках традиционных энергетических систем. Это участники базовой производственной цепочки (генерация – передача – распределение – сбыт – потребление). Они продолжают функционировать в рамках ИЭС, поскольку являются основой всей энергетической системы:

– *оператор распределительной сети* обычно является ее владельцем и отвечает за строительство, эксплуатацию, обслуживание и развитие. Часто он также осуществляет продажу электрической энергии потребителям, но эта роль может выполняться и другой структурой – в зависимости от структуры энергетической системы отдельного государства;

– *государство* – обычно это национальный/региональный/муниципальный департамент, который отвечает за электроэнергетику. Иногда он также может включать министерства природных ресурсов;

– *профильный регулятор* – этот орган, ответствененный за установление правил функционирования электроэнергетической системы и вовлеченных участников. Он устанавливает тарифы – в зависимости от принятой нормативно-правовой базы. Участникам сектора, которые владеют и управляют системой для осуществления инвестиций и внесения изменений в структуру физической системы либо способ ее функционирования, необходимо получить одобрение со стороны такого регулятора. На многих рынках роль регулятора включает защиту интересов налогоплательщиков (защита потребителя), что связано с тем фактом, что инвестиции в развитие сети должны создавать определенные выгоды для потребителей (прямые либо косвенные);

– *центр финансовых расчетов* – это лицо, ответственное за сбор выручки с потребителей. Им может быть как сбытовая организация или оператор распределительной сети, так и отдельный орган;

– *традиционный генератор* – поставляет основную часть электрической энергии и обычно в качестве энергоносителя использует уголь, газ, ядерную энергию, гидроэнергию либо нефть. Многие рынки в мире включают как регулируемых, так и независимых генераторов традиционного типа. Обычно они подключены к сети передачи;

– *сбытовая организация* – предоставляет электроэнергетические услуги потребителю на конкурентном рынке. Обычно у такой организации есть потребители в различных распределительных сетях, и они конкурируют с другими сбытовыми организациями за право продажи электрической энергии определенному потребителю;

– *независимый системный оператор* – управляет высоковольтной сетью и, в зависимости от выбранной модели рынка, может владеть такой сетью. Необходимо принимать во внимание, что, кроме различий в управлении активами, независимые системные операторы могут также выполнять различные рыночные роли (иногда системный оператор управляет физическим оптовым рынком, а иногда торговля осуществляется через независимую биржу);

– *владелец сетей передачи высокого напряжения* владеет высоковольтными сетями, ответственными за передачу электрической энергии между городами и основными генерирующими установками. Обычно деятельность по владению и управлению сетями передачи разделены;

– *производители оборудования* поставляют электроэнергетическое оборудование, выступающее технической основой сектора. Эта категория участников может внести существенный вклад в развитие электроэнергетики, но требуется соответствующий контроль – необходимо обеспечивать равенство прав и интересов всех участников сектора;

– *органы сертификации* – эта категория участников обычно принимает участие в оценке безопасности новых технологий и разработке стандартов безопасности энергопринимающих устройств и компонентов;

– *коммерческий потребитель* – эта категория включает всех потребителей за исключением промышленных и домохозяйств (магазины, офисы, школы и прочие здания, используемые для оказания услуг). Как и в случае с домохозяйствами, ввиду отсутствия согласованности действий и экспертизы эта группа участников обычно имеет представителя в лице органа по защите прав потребителей или определенного регулятора;

– *крупный потребитель* – это промышленные предприятия, на которые приходится основной объем спроса на электрическую энергию. Иногда они имеют прямое подключение к высоковольтным сетям;

– *отраслевые ассоциации* – могут принимать форму различных отраслевых союзов, отстаивающих интересы определенной группы участников сектора. Это очень важная группа участников, так как у них обычно есть существенная поддержка со стороны участников;

– *установщики оборудования* – часто это лицо либо организация, ответственная за построение и/или модернизацию электроэнергетической инфраструктуры путем добавления оборудования (начиная от счетчиков и заканчивая подстанциями);

– *потребитель-домохозяйство* – в силу отсутствия профильных компетенций их интересы представляет орган по защите прав потребителей или определенный регулятор;

– *органы, ответственные за разработку стандартов*, способствуют более качественному взаимодействию технологий и сетей путем установления совместимости;

– *операторы цифровых данных* (занимаются обработкой данных, поступающих с установленного у потребителей оборудования учета («умных счетчиков»); данных, поступающих с контрольного оборудования операторов сетей; данных, поступающих с генерирующего оборудования). Благодаря применению различных технологий «больших данных» появляется возможность выявления закономерностей в системе с последующей ее оптимизацией [85];

– *провайдеры услуг по прогнозированию и моделированию* (виртуальные электростанции, прогностические инструменты и пр. [86]);

– *провайдеры прочих потребительских сервисов*.

Зеленым цветом отмечены группы участников, которые осуществляют деятельность в рамках традиционной энергосистемы, но редко рассматриваются в качестве ее участников. Причиной является то, что традиционная точка зрения на энергетический сектор не учитывает ряд требований, которые выдвигаются к нему в рамках ИЭС [52]: обеспечение экономики государства необходимой для развития инфраструктурой; оптимизация использования всех видов ресурсов; обеспечение получения обще-

ством определенных потребительских ценностей; снижение негативного влияния на окружающую среду. В рамках ИЭС в состав основных участников включаются три новых группы:

- службы экстренного реагирования;
- НКО по защите окружающей среды;
- органы планирования регионального развития.

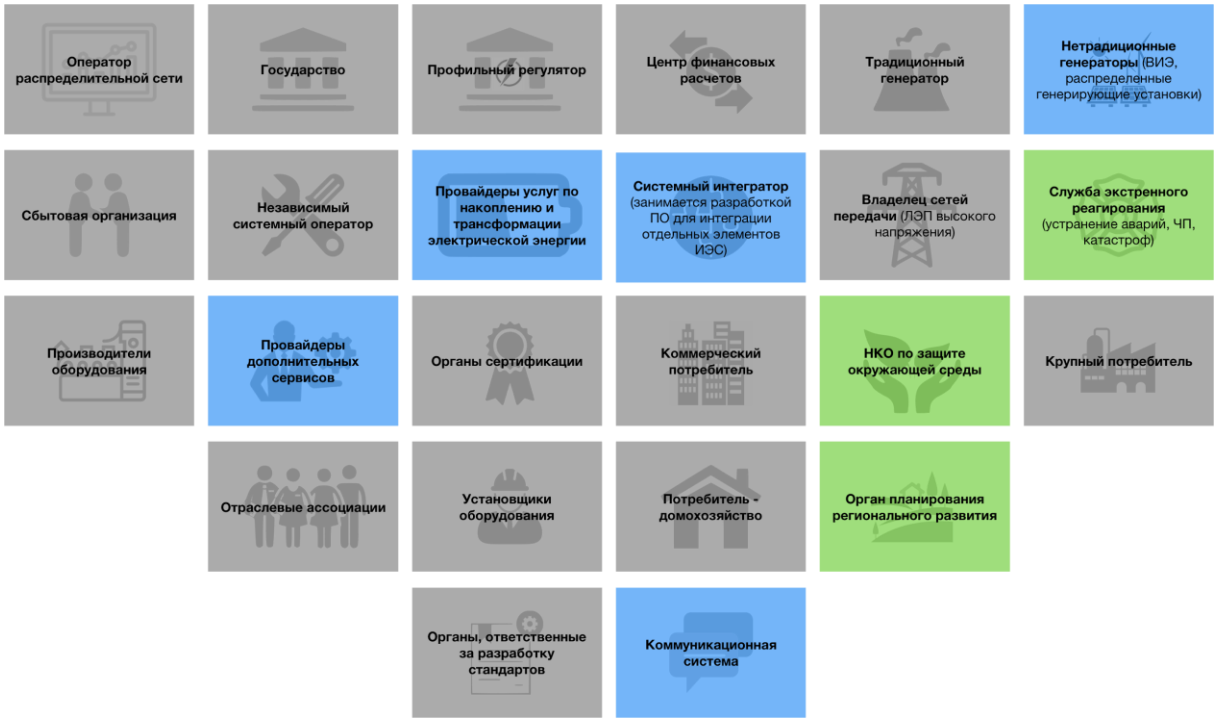

Рис. 2.5. Состав участников энергетической системы в рамках ИЭС
(адаптировано из [84])

Как уже было отмечено ранее, одной из характерных особенностей ИЭС является высокая надежность функционирования энергетической системы. Именно это является причиной включения *служб экстренного реагирования* в состав ключевых участников. Обеспечение максимальной бесперебойности поставок электрической энергии возможно только в случае тесного сотрудничества с подобными службами (рис. 2.6).

Как видно из приведенной на рисунке информации, основная длительность перебоев поставки электрической энергии приходится на различные стихийные бедствия. Поэтому тесное сотрудничество со службами, способными оперативно решать подобные инциденты, является критически важным для успешности развития ИЭС в целом.

Некоммерческие организации по защите окружающей среды могут оказать помощь развитию ИЭС путем обеспечения публичной поддержки различных инициатив, направленных на снижение негативного влияния энергетического сектора.

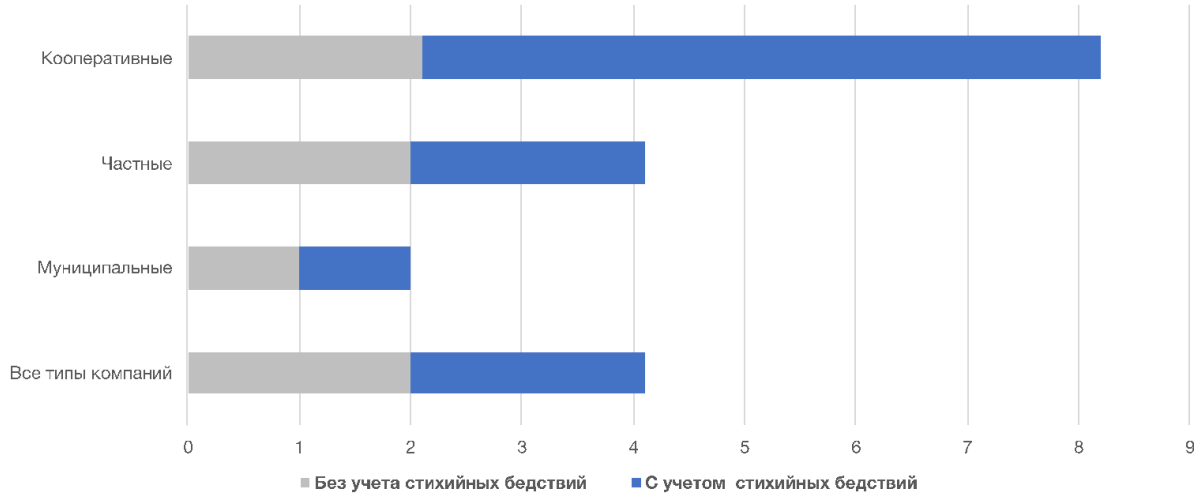

Рис. 2.6. Общая длительность перебоев поставок электрической энергии (в расчете на 1 компанию в течение 1 года) (основано на [87])

Органы планирования регионального развития, будучи ответственными за перспективное планирование экономического развития (включая различные строительные проекты на определенной территории), обладают информацией в отношении прогнозов будущей нагрузки на энергетическую систему в этой местности. Включение их в состав участников позволит избежать ситуаций, когда энергетическая инфраструктура не в состоянии справиться с внезапно возросшим спросом, вызванным постройкой крупного жилого, коммерческого либо промышленного объекта. Более того, взаимодействуя с местными властями, эти органы могут в будущем выступать партнерами в реализации различных проектов в рамках ИЭС и осуществлять как административную, так и финансовую поддержку.

Синим цветом обозначены те участники, которые являются новыми с точки зрения традиционной энергосистемы. Это те группы участников, которые создают дополнительную ценность в рамках ИЭС и нацелены на реализацию задач, наиболее важных с точки зрения текущего состояния энергетической системы многих стран:

– *нетрадиционные генераторы* – обычно они представлены владельцами генерирующих установок малой мощности различного типа (солнечные, ВЭС, когенерация и пр.). Зачастую они имеют подключение к низковольтным распределительным сетям;

– *провайдеры услуг по накоплению и трансформации электрической энергии* – эту группу участников обычно относят к сегменту «обеспечение гибкости». Они позволяют повышать эффективность использования распределенных источников генерации (включая просьюмеров);

– *системный интегратор* – обычно это компания, специализирующаяся на разработке ПО и объединяющая отдельные продукты различных поставщиков на единой платформе. Роль интегратора в проектах ИЭС критически важна, поскольку их успешность существенным образом зависит от совместимости используемых компонентов;

− *провайдеры дополнительных сервисов* – независимые фирмы, услуги которых дополняют либо заменяют описанные выше. В вопросах взаимодействия с этой категорией участников критически важным является вопрос регулирования, который часто не принимает во внимание их модель работы и интересы;

− *коммуникационная система* – сотовая, оптическая или другая коммуникационная сеть, которой владеет и управляет кто-то, кто не является владельцем электроэнергетической инфраструктуры.

Описанные выше изменения приводят к существенному изменению структуры электроэнергетики, состава ее участников и форматов взаимодействия.

2.1.2. Изменение состава участников отрасли и формата их взаимодействия

Описанные выше изменения приводят к существенному изменению структуры электроэнергетики, состава ее участников и форматов взаимодействия. В отличие от традиционной электроэнергетики, в которой основной стратегией поведения было «один – многим» (существовало ограниченное количество генерирующих компаний; сеть представляет собой естественную монополию; сбытовые организации рассматриваются безальтернативно), в современных условиях широкое распространение получает стратегия «многие – многим», когда процессы генерации и передачи электрической энергии становятся менее централизованными, а потоки приобретают характер двунаправленных [88].

На рис. 2.7 схематично изображен новый состав участников процесса генерации, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Как видим, в структуре «новой» отрасли присутствуют как традиционные игроки (генераторы, сбытовые организации, сетевые компании, потребители, производители оборудования, трейдеры), так и принципиально новые группы участников (виртуальные электростанции, технологические компании, стартапы, транспортные средства, сообщества, коммерческие и промышленные просьюмеры, просьюмеры-домохозяйства).

Более того, изменяется состав деятельности и источники ценности для участников отрасли.

Генерирующие компании

Генерирующие компании, обеспечивая удовлетворение базового спроса, получают выручку за отпущенную электрическую энергию. Учитывая стохастичность работы возобновляемых источников, в ближайшем будущем вряд ли можно ожидать замещения базовой генерации ВИЭ установками, поскольку это существенно подорвет безопасность и надежность энергетической системы. Кроме того, текущий уровень развития систем хранения электрической энергии также не позволяет полностью отказаться

от базовой генерации. Тем не менее, преследуя цель оптимизации, существенным источником дохода генерирующих компаний буду являться выплаты в рамках договоров на поставку мощности (когда генератор строит объект под потребности конкретного потребителя, который в свою очередь обязуется использовать весь объем поставляемой мощности либо оплачивать генератору расходы по содержанию этого оборудования). Подобные договоры являются привлекательными для обеих сторон, поскольку генератор решает проблему избытка мощностей и поиска источников для их содержания, а потребитель может быть уверен в надежности поставок того объема мощности и электрической энергии, который установлен рамками заключенного соглашения.

Операторы сетей

Операторы сетей (включая интеллектуальные) продолжают играть важную роль в работе электроэнергетики – особенно в сегменте передачи. Магистральные сети продолжат обеспечивать поставки электрической энергии от крупных объектов генерации различным группам потребителей. Тем не менее, в будущем у операторов появятся дополнительные источники получения выгод. В первую очередь это будет касаться управления сетевыми активами для локальных распределительных сетей. Сетевой оператор, будучи в прошлом естественной монополией, накопил достаточный объем навыков и компетенций по эффективному управлению сетевым хозяйством. К нему по-прежнему будет подключено большое количество разнообразных потребителей. В связи с этим он может занимать роль интегратора и, пользуясь доступом к большому количеству потребителей и обладая обширной информацией, может управлять сетью более эффективно в масштабах всей сети. Тем самым возможно избежать проблемы локальной эффективности при глобальной неэффективности. Кроме того, сетевые операторы получат возможность избежать необходимости дорогостоящих инвестиций в расширение сети для поддержания краткосрочных пиков спроса. Выравнивание графиков нагрузки и использование интеллектуальных систем управления сетью позволит повысить эффективность использования существующего хозяйства без необходимости его существенного расширения.

Получение возможности генерировать собственную электрическую энергию и выдавать ее в сеть приведет к тому, что потребители получат возможность на этом зарабатывать, тем самым снижая общие издержки на электрическую энергию.

Внедрение систем накопления и сервисов гибкости приведет к повышению возможностей для управления напряжением в сети, повышения качества поставок электрической энергии и сглаживанию пиков. Более того, системы накопления, обладая высокой степенью мобильности, могут быть использованы вместо резервных генерирующих мощностей, тем самым снижая общую стоимость электрической энергии для конечных потребителей.

Виды деятельности и источники выручки

Производство электрической энергии
- Выручка от продажи электроэнергии
- Новые клиенты в рамках ДПМ
- Снижение издержек на балансироование

Платформы / P2P
- Выручка от обеих сторон транзакции
- Доступ к производственным и накопительным активам
- Выручка от сопутствующих услуг

Управление сетью
- Доходы от управления активами
- Снижение инвестиций в развитие сети
- Снижение вынужденных разгрузок в периоды низкого спроса

Сетевые услуги, хранение, гибкость
- Регулирование частоты работы сети
- Качество электрической энергии
- Сглаживание пиков
- Быстрый запуск
- Арбитраж
- Краткосрочная и резервная мощность

Коммерческие и промышленные потребители / просьюмеры
- Выручка от продажи электрической энергии и сопутствующих услуг
- Доступ к дополнительным производственным и накопительным активам

Потребители-домохозяйства
- Выручка от продажи электроэнергии и сопутствующих услуг
- Доступ к производственным и накопительным активам

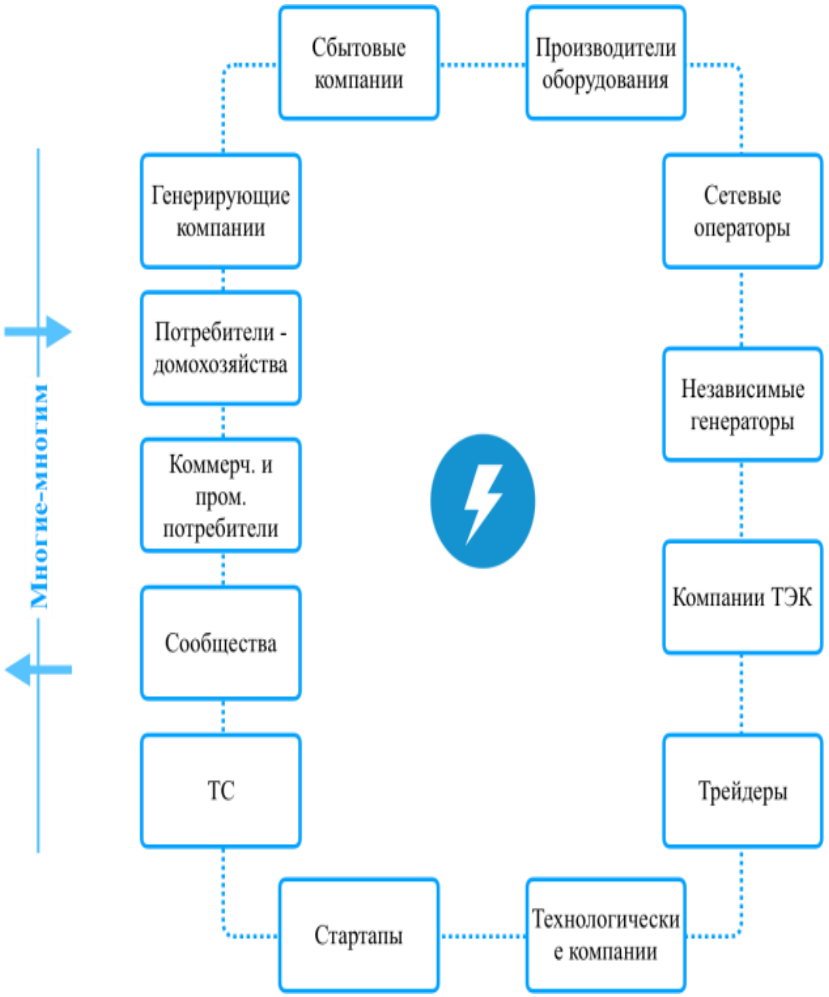

Рис. 2.7. Новый состав электроэнергетической отрасли и характер взаимодействия между ними (схематично)
(составлено на основании [88])

Внедрение разнообразных платформенных решений позволит объединить сторону спроса и предложения наиболее удобным для обеих способом – цифровым и обеспечить прозрачность транзакций и взаиморасчетов. Более того, на этой платформе также могут предлагаться различные дополнительные услуги и/или продукты, которые будут создавать для потребителя и производителя удобное комплексное ценностное предложение.

Развитие собственной генерации потребителей, ВИЭ, микрогридов, накопителей энергии, агрегаторов, электротранспорта и других тенденций создали условия для быстрого развития сектора распределенной энергетики. Его структура, как следует из перечисленного, может быть разной, как и связи между участниками. Возникает множество задач в области интеграции распределенной энергетики в крупные энергосистемы, ряд из них содержит конфликты интересов экономических агентов.

Новые возможности в области систем накопления электрической энергии, распределенной генерации и систем зарядки электротранспорта в совокупности с системами бытовой автоматизации позволяют потребителям более точно подстраивать потребление в соответствии с их потребностями [89]. Такое активное поведение потребителей повлечет за собой необходимость повышения гибкости рынка и позволит повысить эффективность использования сетевого хозяйства.

Агрегаторы спроса

Агрегаторы спроса [90] также существенным образом трансформируют традиционные форматы взаимодействия участников. Благодаря возможности объединения спроса индивидов, агрегатор имеет возможность ограничивать обмен электроэнергией с национальной/региональной энергосистемой благодаря перераспределению излишков между участниками пула [91].

Главной функцией агрегатора является предоставление отдельным потребителям возможности управлять собственным спросом путем:

– предоставления им информации и разработки необходимых технических решений (включая предоставление специализированного ПО) для изменения «профиля потребления» и получения соответствующего экономического эффекта;

– продажи излишков электроэнергии прочим участникам энергетического рынка.

Активные потребители («просьюмеры») и управление спросом

Широкое распространение электроники, развитие цифровизации и интернет-технологий привело к повышению требований к качеству и надежности энергоснабжения, а также к его доступности для мобильных потребителей. Кроме того, вопросы ограничения роста цен на энергию, в том числе на электроэнергию, занимают важную роль во многих странах. Важным трендом последних десятилетий в развитых странах является уси-

ление внимания общества к проблемам экологии и загрязнения окружающей среды, и это повысило внимание к проблеме негативных экстерналий, связанных с деятельностью в энергетике.

В отличие от ситуации в прошлом, когда электроэнергия представляла собой сырьевой товар, и у потребителей не было особого выбора, теперь домохозяйствам, предприятиям, организациям и прочим потребителям важно, чтобы потребляемая энергия соответствовала их требованиям.

С одной стороны, рост требований потребителей стимулировал трансформацию бизнесов традиционных производителей энергии, участников централизованных энергосистем. Особенно это заметно в условиях, когда в электроэнергетике произошло создание энергетических рынков и рыночных отношений в секторе розничной торговли электроэнергией. Распространение бизнес-моделей, позволяющих настраивать конкретный товар в соответствии с предпочтениями отдельных потребителей, привело к тому, что аналогичные запросы теперь можно наблюдать и в энергетическом секторе. И у потребителей появился выбор как источника электрической энергии, так и ее поставщика.

С другой стороны, усиление тренда на энергоэффективность привело к распространению активных стратегий потребителей. Они стали более заинтересованными в том, чтобы управлять собственным потреблением и иметь возможность выбирать пакет услуг, который будет им предоставлять сбытовая организация. Подобное явление получило название «ритейлизация» («retailization») [92]. Теперь потребители ожидают, что поставщик электрической энергии возьмет на себя установку устройств, позволяющих управлять энергопотреблением, которые помимо прочего будут конфигурированы в соответствии с требованиями конкретных потребителей. Они при этом снижают свои затраты и повышают энергоэффективность, реализуя различные стратегии [93]:

– статические (долгосрочные) – повышение энергоэффективности и энергосбережение:

▪ реализация стандартов энергоэффективности в электроприборах – пассивное участие (единоразовая замена оборудования без последующего участия в регулировании потребления);

▪ покупка и установка энергоэффективной технологии, а также ограничение энергопотребления;

– динамические (краткосрочные) – воздействие на энергоэффективность:

▪ регулирование нагрузки потребления и управление собственным спросом – автоматизированное с помощью специализированного оборудования;

▪ смещение собственного потребления – активное участие с целью переноса основной части потребления вне часов пик;

▪ участие в агрегаторах спроса и виртуальных электростанциях.

Важным направлением активных стратегий энергопотребления стало развитие собственной генерации потребителей. Эту категорию экономических агентов, являющихся потребителями и производителями энергии, называют просьюмерами. В случае если они присоединены к энергосети, то помимо традиционного вида деятельности (выбора электроэнергии из сети, как это традиционно происходило в прошлом) они выступают также в роли генераторов, выдавая излишки собственной электроэнергии в сеть, тем самым изменяя базовые постулаты рыночных отношений и конкурируя с традиционными производителями и поставщиками энергии [66, 93, 94, 95].

Развитие современных технологий интеллектуальных сетей, распределенной генерации, систем управления собственным потреблением привели к тому, что потребители начали играть более активную роль в функционировании электроэнергетической системы. С одной стороны, теперь им доступны инструменты управления собственным потреблением (сдвиг пиков), а с другой – они могут продавать имеющиеся излишки электроэнергии, тем самым снижая общие затраты на электроэнергию.

Результаты проведенного Accenture в 2018 г. исследования [96] показали следующую картину: 42 % потребителей считают, что поставщики электрической энергии не соответствуют их ожиданиям в части работы в цифровых каналах; 73 % потребителей готовы выбрать исключительно цифровой сервис в том случае, если это повлечет за собой снижение общих расходов на электрическую энергию; 76 % потребителей хотят иметь возможность прозрачного ознакомления с новыми продуктами и услугами, доступными для них в рамках услуги по поставке электрической энергии; около 50 % потребителей считают, что программы лизинга различных ВИЭ-установок и накопителей гораздо более привлекательны по сравнению с единоразовой покупкой; 61 % потребителей заявили о заинтересованности в наличии онлайн-площадки для продажи электрической энергии своим соседям; для 80 % потребителей высокую важность имеет персонализированность того предложения, которое предлагает поставщик электрической энергии; 80 % потребителей готовы рассматривать энергоэффективные продукты и сопутствующие услуги сторонних поставщиков. Все это свидетельствует о том, что потребители становятся более избирательными и требовательными.

Подобное изменение перспективы является одним из важнейших индикаторов энергетического перехода. Снижающаяся стоимость фотовольтаики, технологий хранения электрической энергии и рост спроса на электромобили [97] приводит к формированию принципиально новой системы, в которой потребители производят, используют, хранят и продают свою электрическую энергию [89].

Кроме того, по прогнозам Еврокомиссии [98], к 2020 г. только в рамках ЕС будет установлено около 200 млн интеллектуальных приборов уче-

та, которые еще больше подстегнут процесс интеграции мелких просьюмеров и распределенных источников генерации в сеть. Подобные устройства повышают гибкость потребителей (они предоставляют им информацию в режиме реального времени, что стимулирует смещение графиков потребления все часов пик).

Новые возможности в области систем накопления электрической энергии, распределенной генерации и систем зарядки электротранспорта в совокупности с системами бытовой автоматизации позволяют потребителям более точно подстраивать потребление в соответствии с их потребностями [89]. Такое активное поведение потребителей повлечет за собой необходимость повышения гибкости рынка и позволит повысить эффективность использования сетевого хозяйства.

Цифровизация играет ключевую роль в снижении барьеров для потребителей, местных сообществ и небольших стартапов для участия в инновационных энергетических проектах: торговля электрической энергией через цифровые P2P платформы, участие в управлении спросом, удаленное управление энергопотреблением [99, 34]. Распространение технологий blockchain в ближайшем будущем может привести к выведению процесса совершения транзакций из-под контроля центральных органов управления (центров финансовых расчетов) и подрыву традиционных бизнесов энергетических компаний.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие модели просьюмеров [101]:

- базовый просьюмер;
- частная (микро)сеть;
- локальная энергетическая компания;
- P2P;
- сервис мобильности.

Базовый просьюмер

Эта модель (рис. 2.8) обычно предполагает установку распределенной генерации на ВИЭ (обычно ветер и солнце). Просьюмеры получают выгоды в виде «бесплатной» электрической энергии, которую они сами генерируют. Учитывая снижение стоимости генерирующих установок и дотации со стороны государства, такие модели создают для потребителей ощутимые финансовые преимущества. К примеру, в Великобритании за период 2010–2018 гг. было установлено более 937 тыс. систем генерации на фотовольтаике [102].

Частная (микро)сеть

Такие модели (рис. 2.9) являются решением для удаленных и изолированных территорий, где строительство локальной сети обходится дешевле, чем строительство линий и финансирование возникающих впоследствии потерь при передаче на длинные расстояния. Традиционным источником

генерации является дизельный генератор, который иногда может дополняться несколькими ВИЭ-установками. В рамках подобной модели локальный сетевой оператор владеет низковольтной распределительной сетью и виртуальной энергетической компанией, которая ответственна за биллинг.

В рамках подобной модели есть вероятность оптимизации потребления электрической энергии через установку тарифов по времени пользования [101].

Локальная энергетическая компания

Локальные энергетические компании (рис. 2.10) нацелены на удовлетворение спроса на электрическую энергию в рамках определенной ограниченной территории. Их еще часто называют виртуальной частной сетью. Такая модель предполагает выстраивание связи между местной генерацией и спросом и предоставляет просьюмерам и потребителям более привлекательные тарифы по сравнению с центральной энергетической системой. В более сложных вариантах исполнения тарификация потребителей может осуществляться через динамическую систему ценообразования (в часы пик цена выше).

P2P

Модели peer-to-peer (рис. 2.11) нацелена на устранение поставщика электрической энергии из процесса взаимодействия. Модель основана на использовании сторонней платформы, где просьюмеры получают возможность продавать электрическую энергию при минимальном вмешательстве со стороны поставщиков [102]. В целом, цены могут напрямую устанавливаться в ходе переговоров с просьюмерами, что позволяет последним самим контролировать источники электрической энергии. Идея заключается в том, чтобы предоставить просьюмерам возможность устанавливать более «честные» цены по сравнению с теми, которые предлагает поставщик.

Сервис мобильности

Модель транспортного просьюмеризма (рис. 2.12) обычно применяется в совокупности с установками ВИЭ. Наиболее простой формой является ситуация, когда потребители получают возможность заряжать свои ТС от локальной генерации. В более сложных вариантах агрегаторы могут использовать аккумуляторы электрических ТС для предоставления услуг гибкости и реализации модели «vehicle-to-grid».

2.1.3. Механизмы взаимодействия экономических агентов в цепочке создания ценности в энергетическом секторе

В начале своего развития мировая энергетическая система, нацеленная на генерацию и доставку электрической энергии конечному потребителю, была интегрированной и концентрированной [103] (рис. 2.13).

Рис. 2.8. Модель базового просьюмера (схематично)

Рис. 2.9. Модель частной (микро)сети (схематично)

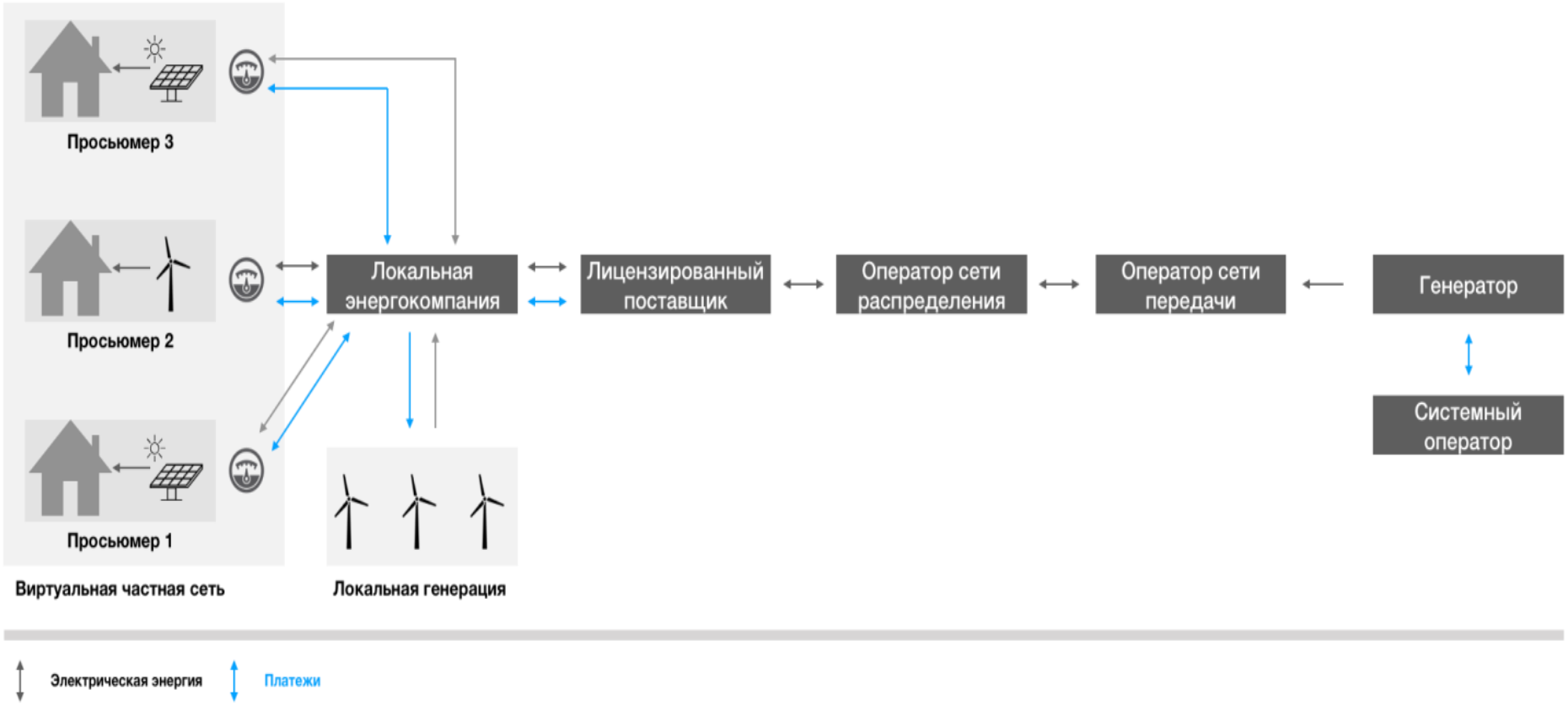

Рис. 2.10. Модель локальной энергетической компании (схематично)

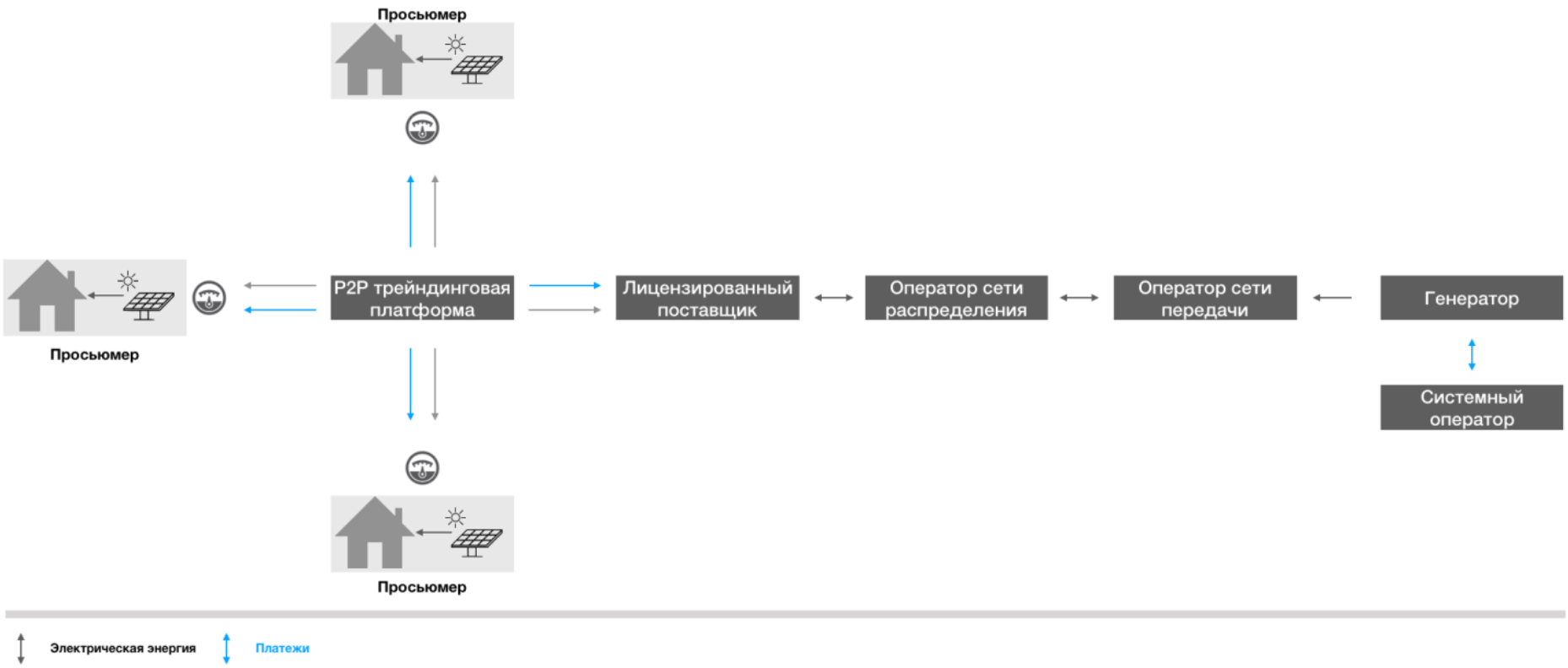

Рис. 2.11. Модель P2P торговли электрической энергией (схематично)

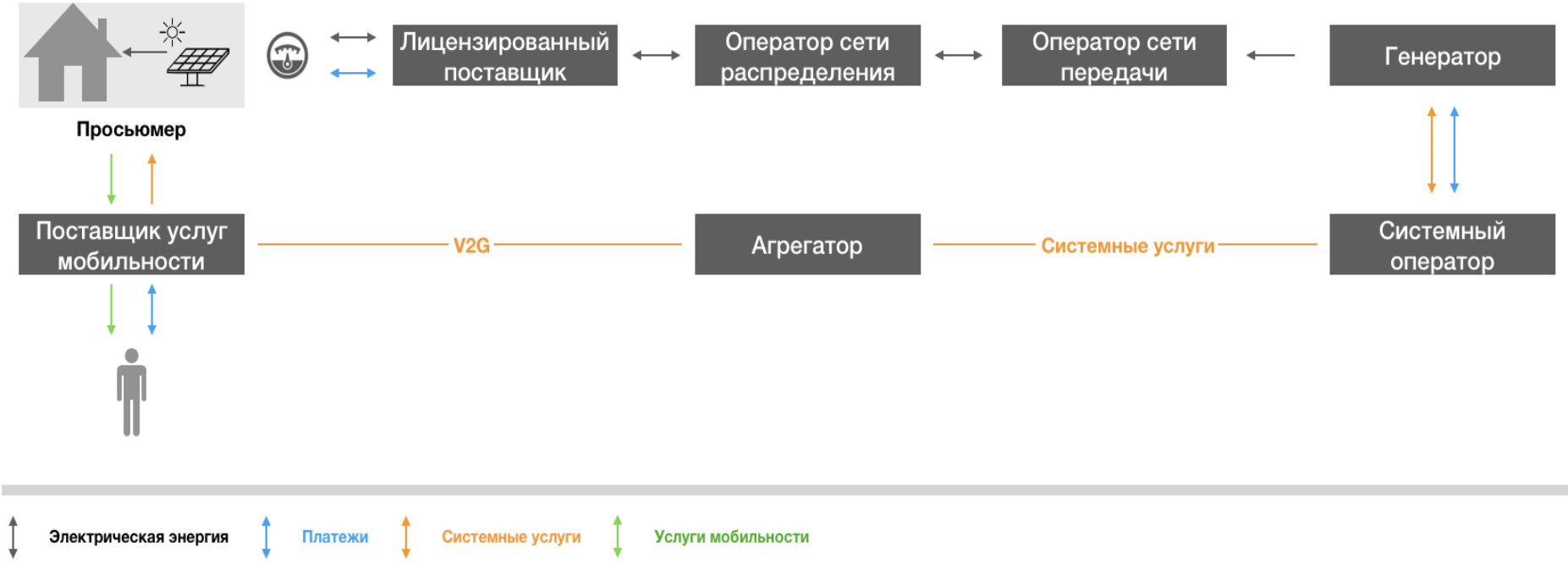

Рис. 2.12. Модель сервиса мобильности в электроэнергетике (схематично)

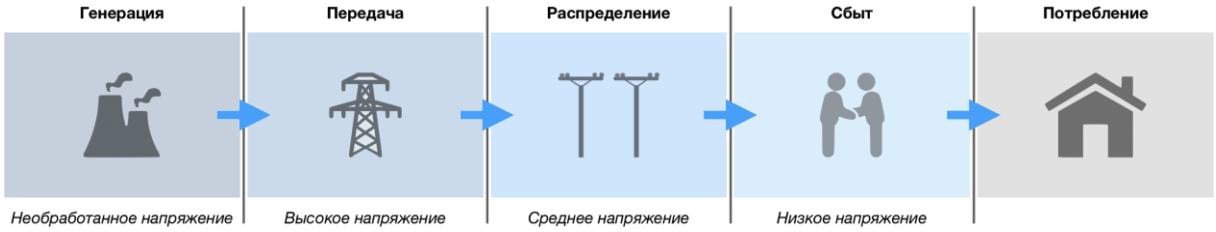

Рис. 2.13. Схема традиционной энергетической системы

Генерирующие установки обычно обеспечивали спрос, который находился неподалеку (в пределах 1–2 километров от установки), а сети, поставляющие электрическую энергию конечным потребителям, были интегрированной частью этой системы. На протяжении всего срока жизни монопольной модели энергетические компании агрессивно следовали стратегии «рост и расширение». Основываясь на экономии от масштаба, развитии паровых турбин и желании производителей принимать на себя риск строительства больших генерирующих установок, энергетические компании начали цикл расширения, который сам себя поддерживал на протяжении многих лет.

Каждый последующий класс турбин имел большую мощность, большую термоэффективность и более низкую стоимость генерации в расчете на 1 кВт·ч, – поэтому наблюдался рост генерации электрической энергии при снижении ее стоимости. Это приводило к расширению использования электрической энергии со стороны потребителей – этот вид энергии теперь был конкурентоспособен по цене с альтернативами, будучи при этом более удобным и безопасным [104].

Тем не менее, примерно к началу 1970-х гг. было достигнуто плато экономии от масштаба и дальнейшее развитие в рамках модели «рост и расширение» было нецелесообразным (рис. 2.14).

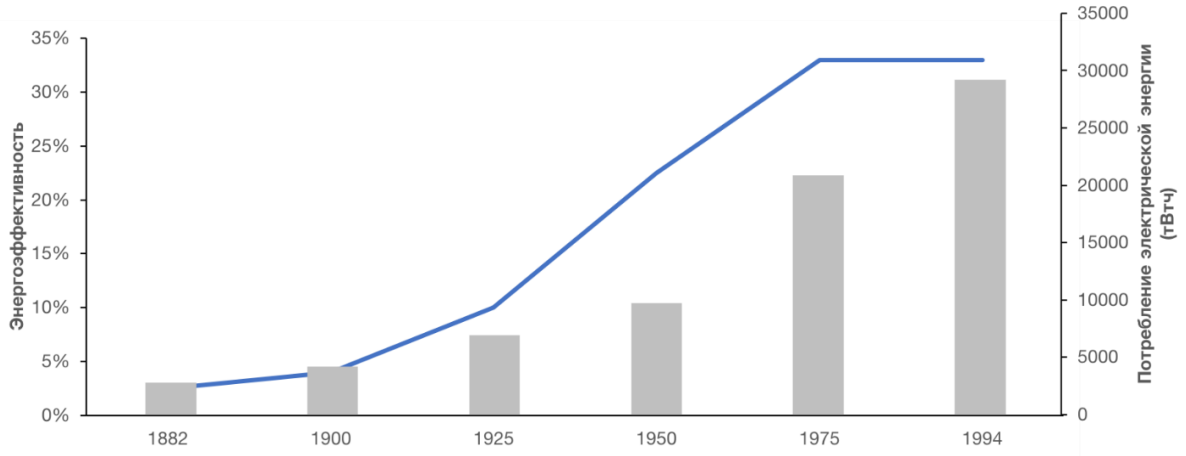

Рис. 2.14. Динамика эффективности генерирующих установок и потребления электрической энергии в США (составлено на основании [96, 105])

Более того, действенность этой модели ставилась под сомнение потребительским поведением – потребители теперь были склонны потреблять меньше электрической энергии. А учитывая тот факт, что дальнейшее увеличение мощностей генерирующих установок не приносило существенного прироста эффективности, генераторам теперь тоже было выгоднее снижать общий объем потребления электрической энергии – таким образом они могли избегать необходимости строительства новых объектов инфраструктуры.

В настоящее время даже в тех регионах, где наблюдается масштабное строительство объектов энергетической инфраструктуры (Индия, Китай), объемы подобного строительства более тщательно регулируются по сравнению с ситуацией середины XX века [106].

Традиционная цепочка создания ценности в энергетическом секторе состоит из однонаправленного пути «генерация – передача – распределение – сбыт» от энергоносителя (обычно топливного) к точке потребления. Энергетический и информационный потоки также имеют одно направление и все, кроме крупнейших участников, играют пассивную роль в этом процессе.

Внедрение различных технологий ИЭС добавляет сложности в эту систему: создаются многонаправленные потоки энергии и информации, а сама система создает благоприятные возможности для функционирования новых участников и бизнес-моделей (рис. 2.15).

Рис. 2.15. Изменение цепочки создания ценности в энергетическом секторе в условиях распространения ИЭС (адаптировано из [106])

Цепочка создания ценности расширяется и включает более разнообразный состав участников, которые ранее не были прямыми элементами этой цепочки. Потребители, которые ранее выступали в роли пассивных получателей ценности (в виде конечного продукта – электрической энергии) становятся активными участниками энергетической системы, что требует их интеграции в сеть. И энергетический, и информационный потоки (последний как таковой отсутствовал в рамках традиционной цепочки) становятся многонаправленными и создают благоприятные условия

для экспоненциального роста различных бизнес моделей, основанных на использовании подобных данных. Распределенные ресурсы (генерация, накопители, электромобили) начинают играть существенную роль как в базовом функционировании системы, так и в создании дополнительной ценности – а в перспективе могут разрушить ту ценность, которая в настоящее время все еще создается традиционными участниками цепочки [106].

Ценностная модель теперь представлена комбинацией из двух элементов [89]: той ценности, которую получает конечный потребитель (надежные поставки электрической энергии по оправданной цене) и обратной ценности (периодическая выручка) от подобных потребителей.

Потребители становятся более требовательными к поставщикам электрической энергии: теперь, помимо выполнения базовых условий (надежность поставки и разумность тарифа), потребители хотят получать больше контроля над собственными расходами и влиянием на окружающую среду, а также получать информацию в отношении потребления электрической энергии [107]. Одновременно с повышением требований, потребители теперь могут предложить гораздо больше со своей стороны помимо базовой оплаты выбранной электрической энергии (рис. 2.16).

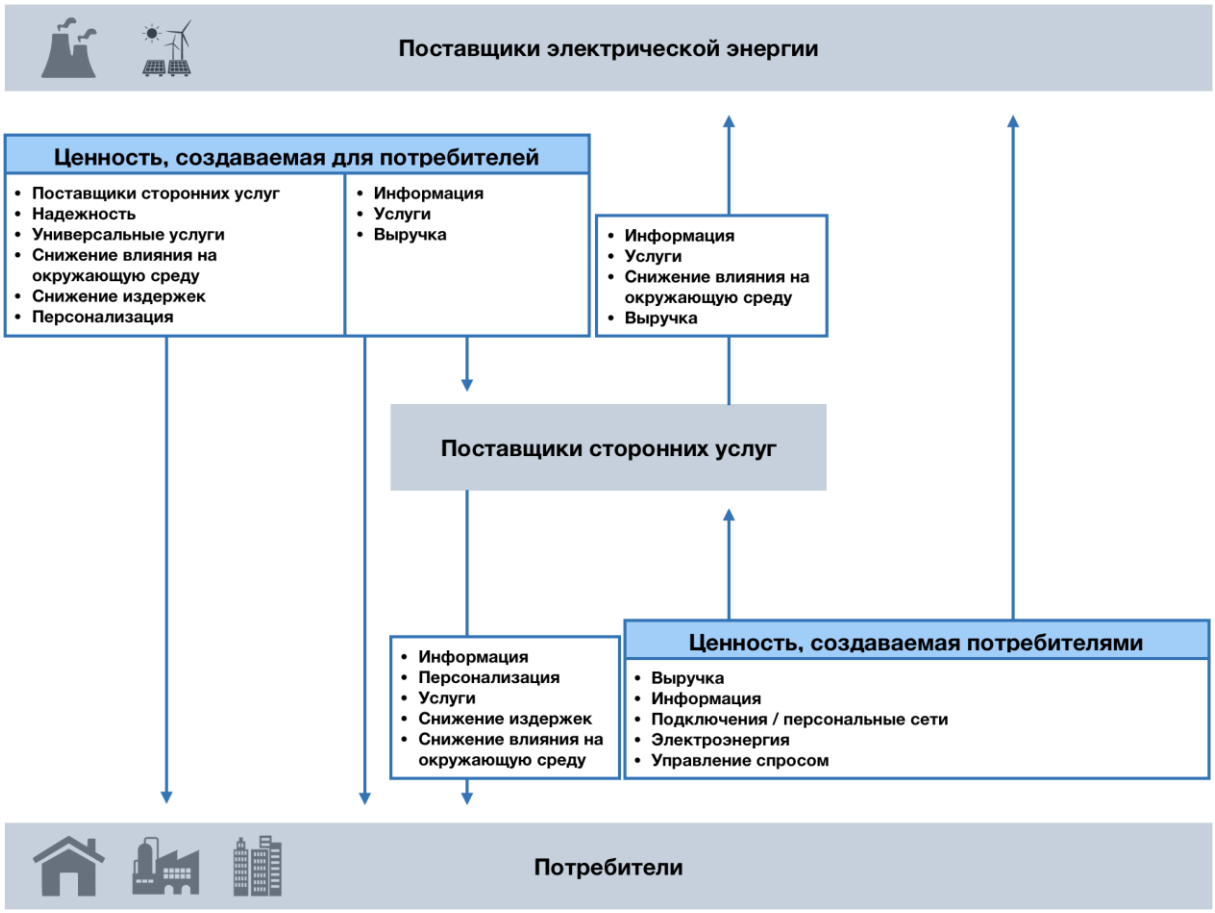

Рис. 2.16. Компоненты создаваемой в рамках ИЭС ценности (адаптировано из [106])

Некоторые из элементов «обратной ценности» носят операционный характер (управление спросом, гибкость профиля нагрузки, распределенная генерация и накопители – когда потребители их применяют) и позволяют повышать эффективность системы и использования активов. Прочие элементы (информация в отношении паттернов потребления, общая информация в отношении поведения потребителей, доступ к личным подключениям/сетям) являются основой для формирования новых потоков генерации выручки компаниями, способными использовать подобную информацию.

Изменения цепочки создания ценности приводят не только к формированию новых типов «обратной ценности», но меняют сам характер создаваемой ценности – с дискретного на непрерывный. По мере роста количества и частоты подобных двусторонних обменов ценностью увеличивается сложность энергетической системы и ценность, доступная ее участникам для извлечения.

Потоки и объем информации, создаваемые в рамках подобной системы, сами по себе представляют ценность – по мере накопления определенного их объема.

Учитывая вышесказанное, можно смело утверждать, что дальнейшее развитие энергетического сектора будет подчинено технологической эволюции и возрастающему контролю со стороны потребителей. Подобное развитие, по мнению института IBM [89], будет происходить через четыре последовательных этапа (рис. 2.17).

Рис. 2.17. Стадии трансформации цепочки создания ценности в энергетическом секторе (составлено на основании [106])

На протяжении последних нескольких лет темп движения в сторону интерактивной сети ускорился. Государственная политика, обязывающая к переходу на современные технологии, устранила наиболее критические барьеры для развития (к примеру, для активизации действий энергетических компаний и потребителей правительства США и Китая осуществляли прямые инвестиции в проекты, посвященные трансформации традиционной цепочки создания ценности в энергетическом секторе). Также положительное влияние оказали международные инициативы в области стандар-

тизации технологических и коммуникационных спецификаций применяемых технологий со стороны Международной Электротехнической Комиссии (International Electrotechnical Commission, IEC) и Американского Национального института стандартизации и технологии (United States National Institute for Standards and Technology, NIST).

Формирование экосистемы взаимосвязанных агентов

До настоящего момента у энергетического сектора не было стимулов для трансформации и формирования экосистемы взаимосвязанных экономических агентов – доставка продукта представляла собой исключительно физический процесс, энергетические и информационные потоки были однонаправленными, а типичный потребитель отличался низкой степенью вовлеченности в процесс взаимодействия с поставщиками.

В данный момент ситуация меняется, что подтверждается приведенной выше информацией. Так, по оценкам IBM [106], в ближайшие годы можно ожидать масштабной перестройки энергетического сектора из традиционной цепочки в экосистему. Прогнозируется, что элементы станут более интегрированными, внимание сместится в сторону рассмотрения вопросов взаимодействия этих элементов (рис. 2.18).

Рис. 2.18. Современная структура энергетических систем (составлено на основе [108])

Энергетическая система нового типа будет отличаться большей степенью интеллектуальности и взаимосвязью между элементами в режиме реального времени, а также большим упором на чистые и устойчивые технологии [98]. Традиционные участники помимо выполнения устоявшихся функций будут вынуждены предлагать потребителям дополнительную ценность:

– *владельцы сетевой инфраструктуры* расширяют спектр своих практик и внедряют технологии, позволяющие активно и гибко задействовать свои активы (к примеру, перенаправлять потоки электрической энергии в случае возникновения пика или аварии на определенном участке);

– *традиционные генераторы* помимо обеспечения базовой нагрузки теперь обращают внимание на различные способы снижения пиков и выравнивания общего профиля потребления своих клиентов с целью оптимизации издержек.

В то же время система нового типа включает в свой состав *потребителей* (которые теперь играют активную роль – «просьюмеры», имеющие техническую возможность не только управлять собственным потреблением, но и осуществлять выдачу собственных излишков электрической энергии в общую сеть); *новых игроков* (ниже будут приведены примеры подобных групп агентов); *микросети* (которые одновременно взаимодействуют с традиционными сетями и замещают их в тех случаях, когда ряд потребителей отключается от единой сети); *накопители* (позволяющие как сглаживать профили нагрузки за счет замещения выбора электроэнергии из сети на расходование ранее накопленной электрической энергии); *управление спросом* (основной целью которого является снижение пиков потребления в дневные часы); *распределенные источники генерации* (снижающие нагрузку на традиционные генерирующие установки).

В рамках экосистемы энергетического сектора традиционным игрокам необходимо рассматривать вопросы создания ценности не в парадигме отдельных элементов, а в парадигме их взаимодействия – как более глубокие знания о характере и механизмах трансформации системы могут создать добавленную стоимость для конечных потребителей. Новым участникам нужно учиться встраиваться в сложившиеся взаимодействия – только так можно избежать риска создания «островных активов» и нарушения этих взаимодействий [108].

Описанные проблемы совмещения устоявшихся и новых взаимодействий решаются путем совместного формирования участниками сектора так называемых «технологических платформ» (ТП) (архитектура и набор правил, позволяющих осуществлять контролируемые транзакции двум или более сторонам) [89, 99]. Этот механизм является историческим для энергетического сектора, где изначально присутствовал элемент стандартизации (230 V/50 Hz), вокруг которого выстраивалась экосистема различных продуктов и услуг.

ТП позволяют поддерживать формат взаимодействия участников за счет «жесткого» ядра (набор правил, стандартов и требований, которым обязаны следовать участники для достижения совместимости предлагаемых продуктов и услуг) и «мягкой» периферии (участников, которые с течением времени могут входить или выходить из экосистемы), а также благодаря созданию так называемых сетевых эффектов.

Механику взаимодействия участников экосистемы через технологическую платформу можно рассмотреть на примере агрегатора информации (рис. 2.19).

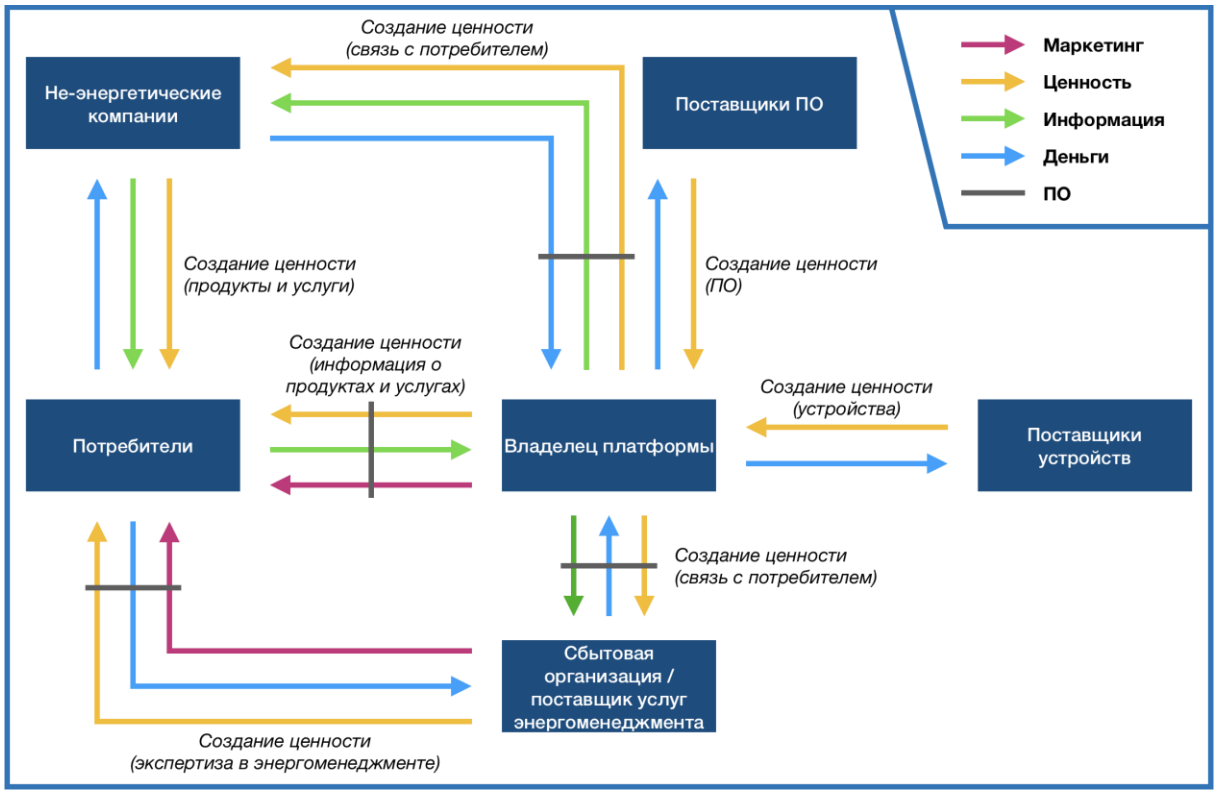

Рис. 2.19. Взаимодействие участников экосистемы в рамках ТП «Агрегатор информации» (адаптировано из [106])

На приведенной платформе потребитель получает возможность выбирать наиболее привлекательное предложение – как с точки зрения тарифа, так и с точки зрения способности поставщика удовлетворить специфические требования этого клиента. Владелец ТП создает ценность через предоставление потребителю доступа к различным приложениям в обмен на согласие обработки информации. Собранная информация в агрегированном виде может быть представлена другой стороне – сбытовой организации, которая платит за доступ к платформе с целью получения возможности подстраивать ценностное предложение под запросы обслуживаемых ею потребителей.

Информационный агрегатор строит свои отношения с потребителями через продажу им устройств для контроля и управления энергопотреблением с предустановленным ПО, которое поставляют независимые разработчики. При наличии соответствующего разрешения от потребителей, владелец платформы может также собирать информацию о паттернах потребления и общем профиле с тем, чтобы можно было предоставить ее неэнергетическим компаниям (например, поставщикам различных энергопринимающих устройств – энергоемкой бытовой техники). Последние готовы платить за подобную информацию, учитывая потенциальные выгоды, создаваемые на ее основе. Информация о потребительском поведении может быть полезна еще одному участнику – поставщикам услуг энергетического менеджмента (которые смогут подстроить свое предложения под требования различных потребителей).

В рамках данной модели можно наблюдать описанный ранее двунаправленный поток создаваемой ценности (поставщик – потребитель), который поддерживается владельцем платформы.

2.1.4. Тенденции и проблемы развития изолированных систем электроснабжения

Значительная часть территории регионов Российской Федерации в силу своего географического положения не охвачена централизованным электроснабжением. Районы децентрализованного энергоснабжения занимают около 60–65 % территории страны и находятся преимущественно в северных регионах.

Всего в зоне децентрализованного электроснабжения находится около 30 000 поселений. Из них более 6000 населенных пунктов имеют численность населения более 500 человек, около1000 населенных пунктов – численность населения свыше 2000 человек и 580 населенных пунктов имеют население свыше 3000 человек [264]. На таких территориях, преимущественно в районах Крайнего Севера, проживает около 8 % населения страны, но в то же время добывается около 76 % российской нефти, 93 % природного газа, 95 % золота, 100 % алмазов, 100 % икры лососевых рыб и т. д. Вклад в формирование доходов бюджетной системы Российской Федерации составляет более 50 %, а доля поступлений от экспорта близка к 70 % [264].

По данным авторов работы [265], в локальных, изолированно работающих энергоузлах северо-восточных регионов России эксплуатируется 29 электростанций суммарной мощностью 6,4 тыс. МВт. Общее количество малых источников генерации в Восточной Сибири превышает 1400 шт., на Дальнем Востоке – 3000 шт. Суммарная установленная мощность таких электростанций составляет 800 МВт и 1080 МВт соответственно, выработка электрической энергии 1,9 млрд кВт·ч и 1,3 млрд кВт·ч [266]. Таким образом, порядка 30 % мощности малых электростанций России функционирует на территории данного региона [70]. В качестве таких источников энергии, в большинстве случаев, используются дизельные электростанции, газотурбинные и газопоршневые установки. На данной территории эксплуатируется 5 геотермальных ТЭС суммарной мощностью 85 МВт, 5 малых ГЭС мощностью 29 МВт и 3 ветроэнергетические станции суммарной мощностью 3,25 МВт [265]. Ежегодное производство электроэнергии геотермальными электростанциями составляет 440–470 млн кВт·ч [266]. Но очевидно, вовлечение в структуру генерации возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на сегодняшний день явно недостаточное. По оценкам авторов работ [268, 269], число дизельных электростанций, работающих в изолированных энергосистемах, составляет около 900, и выработка электроэнергии ими достигает 2,54 млрд кВт·ч.

Условно изолированные энергосистемы в России можно разделить на следующие группы:

− крупные изолированные системы с установленной мощностью более 100 МВт с сетями напряжением 110–220 кВ;

− средние системы 5–100 МВт, которые имеют сети напряжением 6–10–35 кВ, в отдельных случаях 110 (220) кВ;

− малые системы от 1 до 5 МВт (напряжение 6–10 кВ);

− совсем малые – до 1 МВт.

Данная классификация условна в виду нечеткости границ.

Но, тем не менее, к первой группе следует отнести энергорайоны: Норильский, Центральный Магаданской энергосистемы Магаданской области и Западный Республики Саха (Якутии), которые имеют суммарную мощность электростанций около 1000 МВт, а также Центральные энергорайоны Сахалинской области, Камчатского края и Якутии.

Ко второй группе относятся более мелкие системы, такие как энергоузлы Чукотки (Чаун-Билибинский, Анадырский и Эгвекинотский энергоузлы), Охинский Сахалинской области, также энергоузлы поселков Усть-Камчатск Камчатского края, Тикси, Депутатский, Накын Якутии, Новиковский энергоузел и Северокурильск Сахалинской области и ряд других.

Малых и совсем изолированных систем на территории России расположено достаточно большое количество.

Крупные изолированные системы, как правило, по многим своим параметрам и условиям функционирования приближены к свойствам централизованной энергосистемы. Это связано с тем, что в таких системах имеются крупные электростанции и сети напряжением до 110–220 кВ.

Средние и малые системы, как правило, обеспечиваются электроэнергией от небольших источников энергии, в том числе от дизельных генераторов, газопоршневых установок и т. д.

В данной работе, исходя из сказанного, необходимо сосредоточиться на второй и третьей группах изолированных СЭС.

Во многих работах [264, 269–278] проводится технико-экономическая оценка энергоснабжения изолированных потребителей. Рассматриваются вопросы современного состояния развития электроснабжения изолированных территорий. Приводится экономическое обоснование эффективности подключения потребителей к централизованному энергоснабжению, либо обоснование использования местных малых источников энергии. Таким образом, делаются выводы о целесообразности централизованного и децентрализованного электроснабжения для различных территорий в зависимости от тарифов на электроэнергию и стоимости топлива. По результатам таких технико-экономических расчетов можно сделать вывод о наличии большого количества удаленных территорий, электроснабжение потребителей которых необходимо осуществлять от изолированных систем электроснабжения (СЭС).

На формирование, развитие и функционирование СЭС на изолированных территориях существенное влияние оказывают следующие особенности [279]:

− территории имеют большую площадь с низкой плотностью электрических нагрузок, что приводит к повышенным затратам на централизованное электроснабжение за счет высокой стоимости транспортировки электроэнергии;

− недостаточная освоенность данных территорий, наличие преимущественно небольших поселений, что подразумевает невысокий уровень потребления электроэнергии и не дает возможность использовать крупные источники генерации;

− энергетика отдаленных территорий, в основном, базируется на привозном жидком топливе со сложным, трудоемким и сезонным способом доставки, т. е. с высокой транспортной составляющей, что приводит к высокому удельному весу топливной составляющей при производстве электроэнергии;

− невысокий технический уровень энергохозяйств с высокой степенью износа оборудования приводит к низким экономическим характеристикам источников генерации;

− сложные и, в основном, суровые природно-климатические условия этих регионов также приводят к низкому уровню надежности энергообеспечения потребителей.

Как отмечено выше, для таких территорий характерно наличие рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых может обеспечиваться только с помощью децентрализованных источников электроэнергии. В связи с этим комплексное развитие изолированных систем электроснабжения для удаленных территорий является важной задачей. Решение данной задачи позволит обеспечить потребителей электроэнергией необходимого качества и с необходимым уровнем надежности.

Одним из путей улучшения обеспечения электрической энергией удаленных изолированных территорий является приоритетное использование возобновляемых и местных энергоресурсов. Применение такого подхода требует проведения комплексного анализа возможностей применения альтернативных вариантов энергоснабжения и оценки их технико-экономической эффективности.

По данным автора работы [269], необходимо повышение самообеспеченности удаленных территорий местными топливно-энергетическими ресурсами, в том числе и с точки зрения повышения их энергетической безопасности. При выработке электрической энергии в объеме 2,54 млрд кВт·ч [268, 269] в год, использование распределенных генерирующих источников на базе использования ВИЭ позволит обеспечить [269]:

− снижение на 15–20 % потерь на транспортировку и распределение электроэнергии за счет приближения объектов производства электроэнергии к потребителям;

– существенное уменьшение объемов дальнепривозного топлива (при условии замещения с помощью ВИЭ до 50 % энергии, вырабатываемой дизельной распределенной генерации (около 100 ТВт·ч));

– экономия дизельного топлива составит порядка 17,5 млн тонн в год;

– уменьшение вредных выбросов в окружающую среду (в частности, примерно 40 млн тонн CO_2, 80 тыс. тонн SO_X, 600 тыс. тонн NO_X);

– уменьшение объемов завоза бочек для дизельного топлива на северные территории (около 200 тыс. в год);

– повышение надежности электроснабжения потребителей таких территорий.

Широкое применение ВИЭ является общемировой тенденцией. Эти источники выступают в качестве альтернативы традиционным источникам энергии. В связи с нестационарностью работы электростанций на базе ВИЭ должны быть изменены подходы к развитию изолированных СЭС. Следует учитывать необходимость накопителей электроэнергии, управление электропотреблением и активизацию роли потребителей в этом процессе, а также высокие требования потребителей электроэнергии к качеству электроэнергии и надежности электроснабжения (вследствие широкого использования современной бытовой, офисной и промышленной техники с применением электроники и цифровых технологий).

Для унификации терминологии в области ВИЭ в данной работе используются термины, регламентированные ГОСТ Р 54531-2011 [282]. В работе [283] рассмотрены особенности и дается определение понятия изолированной энергосистемы. По его мнению, как правило, это небольшая система электроснабжения, которая имеет, очень часто, единственного собственника как генерации, так и потребителей, нагрузки которой связаны в единый технологический цикл или с несколькими населенными пунктами.

В зарубежной литературе встречается различная терминология для определения изолированных систем [283–300]. Некоторыми исследователями отмечается, что в изолированных системах не обязательно поддерживать строгие показатели качества электрической энергии [298, 301]. Но данное утверждение выглядит спорным.

В работах иностранных авторов проведены исследования для ряда специфических случаев зарубежных изолированных СЭС [302–307 и др.]. Различия в развитии зарубежных и российской энергосистем являются весьма существенными. Такими отличиями, прежде всего, являются климатические условия, возможность квалифицированного технического обслуживания сложного оборудования и систем управления, труднодоступность территорий, различия в нормативно-правовых и законодательных документах, технологические особенности производства у потребителей и др.

Естественно, возникают сомнения в целесообразности прямого копирования западных концепций в российских условиях. Одной из важных особенностей российских изолированных СЭС является то, что в них пре-

обладает нагрузка промышленных предприятий, а бытовая нагрузка занимает существенно меньшую долю. В зарубежных изолированных СЭС наибольшую долю занимает нагрузка бытовых потребителей, что также накладывает свои особенности при их развитии и функционировании.

С учетом особенностей изолированных районов, СЭС таких территорий Российской Федерации приобретают специфические черты в характере их электрических режимов и управления ими в различные сезоны года и в разное время суток.

В изолированных СЭС в качестве основных генерирующих мощностей могут быть использованы:

− дизель-генераторы;
− мини- и микроГЭС;
− системы когенерации;
− накопители электрической энергии;
− электростанции на биомассе;
− ветроэнергетические установки;
− солнечные электростанции;
− миниАЭС;
− газотурбинные установки;
− газопоршневые установки.

Условно изолированные системы предлагается разделить на три вида [297]:

1) с использование исключительно одного вида генерирующих источников (например, только дизельный генератор, только ветрогенераторов и т. д.);

2) комбинированная (гибридная) система;

3) система с использованием накопителей электрической энергии.

Система с применением исключительно дизельных генераторов имеет ряд достоинств, прежде всего, является наиболее надежной и позволяет легче управлять генерацией, но имеет ряд недостатков, в частности:

− высокая стоимость топлива и сложность эксплуатации;

− низкий КПД при пониженной нагрузке, как правило, она должна быть не ниже 80 % от номинальной; при снижении номинальной нагрузки до 50 % КПД существенно снижается [309, 310];

− сложность работы при колебаниях нагрузки, что весьма характерно для изолированных систем (даже установка нескольких генераторов не может полностью исключить данную проблему, что также повышает стоимость эксплуатации);

− экологические проблемы.

Очевидно, что система исключительно с одним видом генерации с использованием ВИЭ также является ненадежной ввиду изменчивости климатических условий. Например, применение исключительно солнечных электростанций приводит к зависимости от длины светового периода суток.

Объединение различных типов генераторов в одну систему позволяет сделать ее более устойчивой.

Конкурентоспособность различных типов генерирующих установок, в том числе на возобновляемых энергоресурсах, зависит от конкретных условий (климатические характеристики, длины светового дня, стоимость топлива и т. д.).

Наличие накопителей позволяет в изолированной СЭС повысить надежность такой системы, а также оптимизировать работу генерирующих источников [311–313]. Нестационарный характер генерации при использовании ВИЭ также оказывает существенное влияние на выбор источников генерации. Использование накопителей электрической энергии позволяет сгладить колебания при выработке электроэнергии с помощью возобновляемых источников энергии.

Состав генерирующих мощностей выбирается исходя из специфических требований потребителей (например, буровые установки) и бытовых, наличия топливных ресурсов (попутный газ, большое количество дней солнечного сияния, ветровые характеристики). Также большое влияние оказывают климатические условия северных территорий Российской Федерации (прежде всего низкие температуры).

Поскольку изолированная система также может включать в себя активных потребителей, накопители электрической энергии, то она может представляться как виртуальная электростанция. Работа виртуальной электростанции обеспечивается единой системой управления режимами [314–317]. В этом случае виртуальная электростанция имеет, прежде всего, техническое назначение (регулирование частоты, поддержание уровня напряжения, поддержание требуемого качества электрической энергии).

В изолированных СЭС появились новые факторы, которые необходимо учитывать при развитии таких сетей. Причем они появились как со стороны генерирующих источников, так и со стороны потребителей электрической энергии. Со стороны потребителей появились новые бытовые и промышленные приемники электрической энергии с повышенными требованиями к качеству электроэнергии и надежности электроснабжения. Со стороны генерирующих источников появились новые технологии генерации, в том числе газотурбинные и газопоршневые установки, ветроэнергетические установки, солнечные электростанции и другие, а также накопители электрической энергии.

Появление современных технических возможностей, в том числе интеллектуальных технологий и современного оборудования, дает возможность реализовать принципы активности изолированных СЭС. Это принципиально иная идеология, основанная, в том числе, на принципах самовосстановления («самолечения») систем электроснабжения посредством реконфигурации и управления распределенной генерацией. В ре-

зультате должна измениться идеология построения и функционирования будущих систем электроснабжения, в том числе изолированных, как активных систем.

Реализация активности систем подразумевает наличие современных информационно-коммуникационных систем и систем управления.

С технической точки зрения понятие активности системы электроснабжения, с точки зрения распределительной электрической сети, рассмотрено в [318] на основе имеющихся представлений [319, 320 и др.]. Целесообразно его уточнить и детализировать следующим образом. Активность системы электроснабжения подразумевает использование автоматических средств управления конфигурацией и параметрами системы с целью:

– рационального обеспечения требований экономической эффективности нормальных, ремонтных, послеаварийных и других режимов (например, минимум потерь активной мощности);

– надежности электроснабжения потребителей (с точки зрения уменьшения дефицита мощности и недоотпуска электроэнергии потребителям в аварийных ситуациях);

– качества поставляемой потребителям электроэнергии (уровни напряжений, наличие гармоник и др.).

Указанные автоматические средства управления могут быть реализованы на базе коммутационных аппаратов с дистанционным управлением, а также систем управления источниками распределенной генерации [100, 172, 263, 321]. При этом должна быть обеспечена координация взаимодействия активной системы электроснабжения с управлением нагрузкой.

2.2. Механизмы взаимодействия экономических агентов в интеллектуальных энергетических системах

Взаимодействие экономических агентов обусловлено возможностями получения выгоды, однако ее распределение и заинтересованность сторон может отличаться в условиях свободного обмена, регулирования, принуждения и зависит от силы, мотивации, компетенций участвующих, а также внешних условий.

Наибольший эффект возникает в ситуации, когда стороны участвуют добровольно и распределяют выигрыш устраивающим всех образом, при этом действуют на долгосрочной основе. В таких условиях возникают устойчивый процесс и необходимость стратегических решений, если стороны обладают свободой выбора и вариантами действий.

Напомним, что энергопереход к низкоуглеродной энергетике и создание интеллектуальных энергосистем начались в ведущих развитых странах в противоречивых условиях, поскольку энергокомпании изначально не поддерживали ни развитие ВИЭ, ни участие потребителей в энерго-

системах, но не предлагали при этом решения проблем экологии и устойчивого развития без роста цен на энергию и рисков энергоснабжения. Однако постепенно позиции сближаются, происходит поиск компромиссных и приемлемых решений, что также продвигает трансформацию энергосистем, бизнес-моделей и стратегий участников и развивает механизмы взаимодействия и «правила игры» в целом.

2.2.1. Примеры и тенденции развития механизмов взаимодействия экономических агентов в ИЭС

Механизмы взаимодействия экономических агентов в ИЭС базируются на принципах обмена, сотрудничества, кооперации, интеграции, конкуренции (табл. 2.1). Широкое распространение получают сетевые формы взаимодействия, которые дополняют и значительно меняют прежнюю вертикальную иерархическую структуру управления в электроэнергетике.

Расширение состава участников энергосистемы сопровождается ростом центров принятия решений в разных сегментах и на разных уровнях, каждый из которых имеет разный вес, но при этом обладает значимостью для ИЭС.

В течение десяти лет ожидаются следующие изменения качественных характеристик потребителей электроэнергии [109]:

– новая социализация (соцсети и мобильная связь, большие данные, интеллектуальный учет);

– доступный выбор поставщиков услуг, новых сервисов и товаров (в том числе чистой энергии), платежных опций;

– информированность и рост компетенций для управления своим энергоснабжением;

– рост требований и условий для долгосрочного сотрудничества с поставщиками услуг энергоснабжения;

– применение технологий, влияющих на энергетическую инфраструктуру (распределенная генерация, умные счетчики, интеллектуальные устройства и электромобили).

В этих условиях возникают разнообразные задачи в сфере коммуникаций и сотрудничества. Для реализации задач по кастомизации и клиентоориентированности энергокомпаниям и инновационным компаниям необходимы новые каналы связи и подходы для построения долгосрочного взаимодействия, в том числе сетевые партнерства; социальные медиа; мобильные приложения; таргетированные (целевые) группы; массовые опросы [109]. Это требует значительных инвестиций от энергокомпаний, при этом затраты на такую трансформацию могут увеличить стоимость услуг для потребителей, что в большинстве стран рассматривается как проблема, поскольку это негативно отражается на конкурентоспособности экономике и качестве жизни.

Таблица 2.1

Примеры механизмов взаимодействия в ИЭС

Механизм взаимодействия	Примеры
Интеграция	Технологическая платформа ИЭС, экосистема энергетики, объединение централизованной и распределенной энергетики; агрегаторы спроса, объединение соседних энергосистем; включение потребителей в состав участников энергосистем, Smart City, Smart grid, Smart building, мультигенераторы, интегрированные энергосистемы (хабы, интерконнекторы, централизованное энергоснабжение) и др.
Коммуникация	Transactive energy (TE), IoT, IoE, IoS, M2M, формирование больших данных и облаков информации и др.; новые форматы широкополосной связи (G5 и т. д.), ценообразование на основе рыночных сигналов
Интеллектуализация	Neural Grid (NG), управление распределенными системами (DER management system (DERMS)), искусственный интеллект, умный учет, двусторонняя коммуникация, управление потенциалом развития; управление спросом; smart-инверторы, активизация потребителей; интегрированное управление системой энергопотребления на стороне потребителя; совершенствование бизнес-моделей и методов регулирования и др.
Кооперация	Сетевые формы сотрудничества; создание цепочек стоимости с включением потребителей и двусторонним обменом информации; расширение состава системных услуг; расширение состава участников ИЭС; клиентоориентированность, долгосрочные стратегии развития умных городов
Конкуренция	Оптовый и многочисленные розничные локальные рынки энергии; низкие барьеры входа (plug and play); интеграция просьюмеров, расширение сферы применения рыночных цен
Регулирование и саморегулирование, политика	Независимый регулятор рынка, НКО с участием производителей и потребителей; органы регулирования экономики, органы государственного управления и местного самоуправления, управление изменением энергорежима («окна возможностей» или блокировка для развития инновационных ниш) и энерголандшафта (стратегические игры)

При этом необходим глубокий уровень проникновения телекоммуникационных и интернет-технологий, то есть уровень цифровизации экономики и развитие экосистем высокотехнологичных компаний в секторе связи должно находиться уже на зрелых уровнях развития.

Интеллектуальные технологии выводят на новый уровень стратегическое и оперативное управление в интеллектуальной энергосистеме [110] (рис. 2.20).

Другой важной особенностью является то, что экономические агенты могут вступать во взаимодействии с ИЭС или отдельными экономическими агентами в разных ипостасях, меняя их в зависимости от ситуации, своих предпочтений и возможностей (производить или потреблять энергию,

мощность, информационные продукты, торговать, оказывать системные или рыночные услуги и т. п.). Таким образом, усложняется характеристика экономических агентов в энергосистеме, их стратегии становятся динамичными и адаптивными, при этом увеличивается количество взаимосвязей с другими агентами, а сетевые формы сотрудничества получают распространение дополнительно к иерархическим. Иначе говоря, экономические агенты получают возможность более легко входить в ИЭС, обучаться и развиваться, гибко менять свою стратегию и роль в энергосистеме.

Рис. 2.20. Изменение систем управления технологическими процессами и рыночными операциями в ИЭС (адаптировано из [3, 110])

В ИЭС меняется сама коммуникационная среда и формируется экосистема участников, взаимодействие с коммуникативной средой киберфизического мира (Интернет вещей (Internet of things, IoT), Internet of service (IoS), машинное взаимодействие (M2M)).

Взаимодействие в электроэнергетической интеллектуальной системе значительно усложняется, формируются потоки больших данных, значительно больше управляющих процессов приближены к реальному времени, система управления становится более децентрализованной. В этих условиях инновационная деятельность происходит более динамично, разнонаправленно и насыщенно. В новых условиях необходимо решать проблемы безопасности, неприкосновенности частной жизни (приватность) и идентичности активов [111]. Это поднимает вопросы кибербезопасности, а также выдвигает новые задачи в области регулирования и развития права.

Механизмы взаимодействия в ИЭС развиваются как в условиях рыночной среды, так и нерыночной. Примечательно, что соотношение этих сред может быть разным, и это в значительной степени определено общим характером и способностью к адаптивности и креативности институциональной среды страны

2.2.2. Механизмы организации и координации взаимодействия экономических агентов интеллектуальных энергетических систем

В условиях интеллектуальной энергетики требования к координации между экономическими агентами меняются в силу новых технических и технологических возможностей, активных и адаптивных стратегий участников, мультиагентного управления, динамического контроля, развития рыночных отношений при общем усложнении структуры и состава энергосистемы и ее открытого характера.

Координация для экономического агента происходит в разных направлениях и на разных уровнях: с другим экономическим агентом или их сетью, с сегментом энергосистемы, каким-либо рынком на базе ИЭС, регулятором, внешней средой. В разных областях ИЭС она может базироваться на принципах кооперации и индивидуализации, централизации и децентрализации, их гибридного сочетания, зависимости и независимости, быть в сфере регулирования или саморегулирования, быть статичной или динамичной, случайной, краткосрочной или долгосрочной. Сложная среда вызывает необходимость разработки гибких стратегий у экономических агентов и формирует условия для сложных динамических игр между ними.

В зависимости от качеств институциональной системы страны, определение областей, где действуют разные условия координации, могут отличаться. Определяющую роль для развития механизмов координации играют:

− конфигурация энергосистемы;

− правила игры в ней для участников;

− уровень технического развития;

− условия деловой среды;

− уровень доверия и готовность к взаимодействию и сотрудничеству экономических агентов в экономике.

В зависимости от того, есть ли у экономических агентов внутренние стимулы, и созданы ли для этого стимулы в экономике, могут получить или не получить распространение совместные действия экономических агентов, охватывая не только сферы их деятельности, но и механизмы взаимодействия, сетевые связи между ними.

В целом развитие механизмов координации в условиях интеллектуальных энергосистем будет осуществляться преимущественно на базе рыночных цен и отношений, высокого уровня автоматизации, применения технологий искусственного интеллекта и машинного взаимодействия, ин-

тернета энергии, самообучаемости и адаптивности многоуровневой системы мультиагентного управления, при применении различных форм сетевого сотрудничества и бизнес-моделей.

На базе механизмов координации развиваются инструменты по гибкому управлению ресурсами и спросом потребителей (demand response, demand-side management), предотвращения и снижения масштабов аварий, обеспечения безопасности и кибербезопасности, развития и распространения лучших практик, внедрения многих технологий 3D и т. д.

Непрерывный характер обмена информацией выводит на новый уровень возможности для адаптации как экономических агентов, так и интеллектуальной системы в целом, формирует для них новые правила игры, что стимулирует развитие новых бизнес-моделей и стратегий.

Особое значение приобретают экономические агенты, которые выполняют роль операторов процессов в энергосистеме, причем в ИЭС они действуют на всех уровнях и во всех секторах (активный конечный потребитель, агрегатор, генератор, диспетчер и т. д.).

Все это что повышает устойчивость функционирования системы и уровень интеллектуализации управления в ней, но в условиях мультиагентного управления, динамичного характера многих процессов одновременно усложняются задачи развития, особенно долгосрочных решений в секторе централизованной генерации и сетевом комплексе.

Инклюзивность ИЭС, сложность ее структуры и разные варианты взаимодействия (конкуренция, интеграция, сотрудничество, кооперация, мониторинг, исследование, консалтинг и т. д.) формируют широкий диапазон требований для развития механизмов координации, но одновременно выдвигают задачи в области развития и гармонизации технических и теоретических стандартов, законодательной и нормативной базы, средств управления, измерения и наблюдения, взаимной адаптивности развития энергетики и экономики с учетом условий внешней среды.

По опыту теории реформ требуется особая среда, где своевременно происходит согласование интересов экономических агентов на перспективу, определяются пути развития, где все участники получают выигрыш. В частности, в сложных случаях, к каким относится создание интеллектуальных ИЭС, целесообразным может оказаться создание промежуточных решений, которые приемлемы для всех стейкхолдеров, чтобы сохранить их доверие и поддержку проводимым изменениям.

Координация между экономическими агентами имеет эффекты для их деятельности по следующим направлениям (табл. 2.2).

Для развития ИЭС и инновационных направлений энергетики во многих развитых странах были созданы стимулы, имеющие нерыночный характер (фиксированные цены (тарифы) для «зеленой» генерации, льготные условия для подключения домохозяйств-просьюмеров, бесплатная или

льготная для потребителей установка интеллектуальных счетчиков, широкая пропаганда энергоперехода (с акцентами на риски энергобезопасности, не всегда достоверными) и т. д.), однако по мере быстрого роста этих сегментов наблюдается и быстрое эволюционирование механизмов поддержки, которые меняются в сторону более рыночных. То есть общий тренд на развитие рыночной среды и рыночных механизмов для ИЭС сохраняется.

Таблица 2.2

Технологические изменения, механизмы координации и эффекты в ИЭС

Изменение в ИЭС	**Эффект для ИЭС**
1	***2***
Саморегулирование	Рост эффективности энергосистемы и реализация потенциала развития в оптимальном направлении; снижение издержек экономики; гармонизация развития экономики и энергетики на разных уровнях; повышение качества рыночной среды ИЭС; повышение согласования стратегий и целей развития участников энергосистемы и экономики
Двусторонний обмен информацией	Рост эффективности и стабильности процессов в энергосистеме; распространение лучших практик и знаний; нахождение приемлемых сбалансированных решений; повышение качества рыночной среды ИЭС; рост стоимости и разнообразия ценности, создаваемой в энергосистеме; развитие инструментов управления спросом; появление новых цепочек создания стоимости
Цифровизация	Формирование облака информации и больших данных на основе двусторонних каналов обмена информацией; трансляция части информационных сигналов в реальном времени; интеллектуализация управления энергосистемы; активизация потребителей; переход к динамическим методам управления и ценообразования
Искусственный интеллект	Рост интеллектуализации, динамичности, технологий системы управления энергосистемой и ее составляющими; рост эффективности взаимодействия экономических агентов, надежности и устойчивости энергосистемы; снижение издержек энергетики и экономики
Кооперация	Рост продуктивности и эффективности в цепочке создания стоимости как в энергосистеме, так и в экономике; рост стоимости и разнообразия ценности, создаваемой в энергосистеме; использование преимуществ централизованной и распределенной энергетики; развитие активных стратегий потребителей и технологий управления спросом; сглаживание кривой нагрузки на энергосистему и сокращение капитальных и топливных затрат в экономике; создание «окон возможностей» для развития инноваций в энергетике и/или блокирование таких возможностей, развитие стандартов
Интеграция	Расширение и усложнение структуры ИЭС при повышении надежности, гибкости, устойчивости, эффективности и снижении издержек экономики в сфере использования топлива и капитальных затрат на создание инфраструктуры; углубление сетевого сотрудничества в разном масштабе (от локального до международного); рост стоимости и разнообразия ценности, создаваемой в энергосистеме; развитие инновационных ниш и изменение энергорежима

Окончание табл. 2.2

1	*2*
Экосистема энергетики и Internet of Energy	Создание долгосрочных отношений экономическими агентами и формирование механизма инновационного развития энергосистемы; рост эффективности и устойчивости энергетики и экономики; новый технологический уровень коммуникации и управления в энергетике и экономике; развитие сетевых и иерархичных форм сотрудничества, институциональной системы, рост доверия; углубление знаний о специфике и характеристиках энергосистемы и ее участниках; повышение потенциала адаптации энергосистемы к условиям развития внешней среды
Smart grid, Smart City, Smart Building, Smart Home	Формирование интеллектуальных энергосистем разного масштаба на основе инновационного комплекса технологий; снижение затрат и повышение устойчивости и качества энергообеспечения экономических агентов. Реализация комплекса энергоэффективных и интеллектуальных решений на микро- или локальном уровне, обеспечивающих гибкое и эффективное управление спросом и использование разных видов энергии; рост устойчивости развития и качества жизни экономических агентов; снижение затрат на топливо и развитие инфраструктуры
Конкуренция	Рост эффективности энергосистемы и развитие рыночной среды в экономике; повышение конкурентоспособности энергосистемы и экономики; формирование правил игры в энергетике на базе стратегических игр
Клиенто-ориентированность	Рост устойчивости в развитии энергокомпаний и энергосистемы; повышение синергии от взаимодействия производителей и потребителей; рост стоимости и разнообразия ценности, создаваемой в энергосистеме; рост эффективности энергосистемы и экономики; дальнейшее развитие адаптивности в институциональной системе; рост доверия
Управление совместным потенциалом развития ИЭС и экономики	Рост эффективности, устойчивости, конкурентоспособности экономики и энергетики, повышение качества и развитие потенциала институциональной системы, рост благосостояния; снижение капитальных и топливных затрат экономики
IoT, M2M	Рост эффективности технологических процессов в различных отраслях и видах деятельности в экономике; снижение издержек, рост устойчивости и эффективности экономики; выход на новый уровень интеллектуализации управления процессами в экономике

Энергетика и экономика при этом продолжают быть открытыми для конкуренции различных решений по развитию ИЭС, что также часто связано с тем, что многие важные регуляторные решения для развития интеллектуальной энергетики принимаются на уровне городов или регионов, а не только на национальном уровне. Ярким примером является энергетика США, где в настоящее время действуют несколько региональных моделей рынков электроэнергии, на базе которых возникают различные варианты модернизации бизнес-моделей и стратегий энергокомпаний, потребителей, регуляторов и других участников.

В развивающихся странах в целом меньше усилий по активизации потребителей в энергосистемах, механизмы поддержки развития инновационных секторов и энергосистем часто заимствуются из зарубежного опыта, ориентированы на энергокомпании (отечественные или зарубежные) остаются нерыночными и неизменными долгое время. При этом много решений на основе импорта капитала, технологий, оборудования, а риски перекладываются на потребителей. Развитие новых условий деловой среды и рыночных механизмов для ИЭС идет медленнее в таких условиях, эффективность системы потенциально ниже, чем в описанном выше случае для развитых стран.

Однако в ряде случаев развивающиеся страны становятся площадками для зарубежных энергокомпаний, которые реализуют экспериментальные проекты по развитию инновационных проектов ВИЭ и альтернативной энергетики, интеллектуальных микроэнергетических систем. Это способствует не только внедрению передовых технологических решений, но и культурному обмену, повышению качества решений по развитию энергосистем.

По всей видимости, можно ожидать, что в крупных странах будет более развита диверсификация механизмов взаимодействия экономических агентов в ИЭС, поскольку там выше разнообразие условий социально-экономической среды и, часто, географических и климатических условий.

2.3. Трансформация моделей регулирования электроэнергетики

2.3.1. Изменение требований и задач регуляторов в электроэнергетике

Изменения в энергосистеме и экономике ставят новые задачи и перед регуляторами, при этом высокий уровень неопределенности на данном этапе развития требует от них:

− проактивного подхода, обеспечивая при этом баланс интересов вовлеченных экономических агентов;

− создания благоприятных условий инвестиционной и деловой среды для реализации инновационного и адаптационного потенциала и снижения рисков.

В настоящий момент мир столкнулся с уникальным энергетическим переходом – от системы, которая была основана на ископаемых видах топлива, к системе, основанной на возобновляемых источниках и стимулирующей экономический рост и снижение негативного влияния на окружающую среду. Энергетический переход непосредственно связан с изменением политики управления отраслью. Мировой энергетический совет разработал концепцию, позволяющую описать эти изменения через три ключевых направления:

− энергетическая безопасность;

− энергетическое равенство;

− устойчивость окружающей среды.

Эти три направления вместе образуют так называемую «энергетическую трилемму», а достижение высоких результатов в каждом из направлений требует тесного взаимодействия органов власти, частного сектора и широкой общественности [112]. Концепция направлена на поиск баланса и согласованного развития по всем трем указанным направлениям – что требует эффективного управления различными аспектами отрасли и подразумевает необходимость компромиссов. Экономический рост может привести к росту энергетической интенсивности экономики, тем самым подрывая энергетическую безопасность путем неконтролируемого потребления и негативно влияя на устойчивость развития. С другой стороны, слишком быстрый переход на ВИЭ может привести к нарушению поставок электрической энергии и ритмичности работы системы и в конечном итоге может привести к перебоям в ее работе. Масштабная электрификация отдаленных регионов к сети увеличивает равенство, но может дестабилизировать всю систему и привести к снижению ее производительности и безопасности [112].

Энергетическая безопасность оценивается через следующие показатели: зависимость от импорта; разнообразие генерации; развитие систем накопления электроэнергии. Энергетическое равенство представляет собой интегральную оценку, состоящую из следующих компонентов: доступ к электрической энергии; цены на электроэнергию; цены на топливо. Устойчивость окружающей среды оценивается через три показателя: конечная энергоемкость; низкоуглеродная генерация электрической энергии; уровень выбросов CO_2 на душу населения. Следует отметить, что данная концепция не учитывает таких распространенных проблем, как макроэкономическая нестабильность и недостаточная эффективность или недостаточное развитие институтов. Это ставит задачу доработки или изменения предложений, которые разрабатываются на базе «энергетической трилеммы», особенно для стран с переходными или развивающимися экономиками. Вопросы нестабильности внешней среды, неблагоприятных условий (в том числе санкций, ограничений доступа к технологиям, торговых запретов и т. п.) также требуют дополнительных решений.

По результатам проведенного Международным энергетическим советом исследования, Российская Федерация находится на 42 месте рейтинга (табл. 2.3). Согласно рейтингу, у России высокие показатели энергетической безопасности и равенства и менее высокие знания показателя устойчивости окружающей среды. Высокий индекс безопасности обусловлен долгосрочной независимостью государства. Тем не менее, небольшие изменения оказывают существенное значение на индикаторы, что обусловлено низким уровнем разнообразия в генерации.

Развитие в рамках этой концепции предполагает внедрение согласованной политики, направленной на активизацию развития энергетического сектора и позволяющей балансировать интересы ключевых заинтересован-

ных сторон. Тем не менее, существует ряд страновых особенностей (географических и социоэкономических), обуславливающих исходную точку, скорость и масштаб трансформации электроэнергетического сектора.

Таблица 2.3

Рейтинг стран мира по методике «энергетическая трилемма»

Место в рейтинге	Страна	Оценка	Индекс	ЭБ[7]	ЭР[8]	УОС[9]
1	Швейцария	AAA	85.8	11	11	1
2	Швеция	AAA	85.2	1	40	3
3	Дания	AAA	84.7	2	28	2
4	Великобритания	AAA	81.5	28	19	6
5	Финляндия	AAA	81.1	3	33	28
…	…	…	…	…	…	…
40	Мехико	ABB	71.3	23	57	50
41	Болгария	BBB	71.3	33	50	49
42	Россия	AAC	71.2	25	18	96
43	Сингапур	DAB	71.2	123	10	37
44	Венесуэлла	ABB	70.3	14	54	41

** [112]*

В первую очередь это касается доступности и потенциала развития возобновляемых источников энергии (в т. ч. оперативного доступа). Энергетические системы с высокой долей участия ВИЭ включают механизмы учета их особенностей (краткосрочная волатильность и сезонность). Очень часто такие источники используются как дополняющие к традиционным. Это позволяет обеспечивать надежность функционирования энергетической системы. К примеру, ряд стран Латинской Америки наблюдают существенное увеличение эффективности генерации электрической энергии при дополнении традиционных ГЭС быстро запускаемыми ВИЭ.

Важным аспектом является паттерн функционирования возобновляемых источников энергии (включая сезонность солнечной энергии). Генерация на ВИЭ зависит от геоклиматических особенностей государства, в то время как график нагрузки зависит от социально-экономических факторов развития. В связи с этим перед государством стоит задача выравнивания сезонных и суточных колебаний спроса и предложения – таким образом, чтобы обеспечивать должный уровень надежности и эффективности функционирования системы.

Необходимо также учитывать прогнозируемый рост спроса на электрическую энергию, вызванный массовой электрификацией различных секторов экономики. Подобный интенсивный рост означает, что возникнет

[7] Энергетическая безопасность.
[8] Энергетическое равенство.
[9] Устойчивость окружающей среды.

необходимость решать вопросы технического характера (обеспечения стабильности работы различных источников генерации и их адекватной интеграции в национальную электроэнергетическую систему), а также учитывать риски, связанные с техническим развитием системы. Увеличение спроса на электрическую энергию приведет к необходимости расширять существующую сетевую инфраструктуру.

Регуляторы в современных условиях сталкиваются с критически сложной задачей одновременного решения возникающих задач (вызванных изменением технологического и идеологического ландшафта) и выполнения существующих. Происходящие изменения в электроэнергетике приведут к изменению функций и задач участников, трансформации их бизнес-моделей, изменениям состава участников. Это в свою очередь приведет к необходимости пересмотра моделей управления сектором. Эти изменения можно описать в логике возникновения «нового слоя» задач, которые возникают в энергетическом секторе (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Схема существующих и возникающих регуляторных приоритетов в электроэнергетике

Существующие цели	Возникающие цели
Разработка и управление тарифами на электроэнергию	Снижение негативного влияния на окружающую среду и здоровье населения
Поддержание надежности системы	Удовлетворение растущего спроса на электрическую энергию при минимизации негативного влияния на окружающую среду
Учет и соответствие росту спроса на электрическую энергию	Поддержка поставок электрической энергии от ВИЭ
Расширение доступа к электрической энергии	Интеграция возобновляемых и распределенных источников энергии в сеть
Обеспечение финансовой устойчивости электроэнергетических компаний	Внедрение мер по стимулированию энергетической эффективности, управлению спросом, внедрению технологий интеллектуальных сетей
Стимулирование привлечения частных инвестиций в сектор	Внедрение технологий локальных сетей
Защита интересов уязвимых групп населения	Стимулирование участия потребителей в электроэнергетическом секторе
Поддержание технической безопасности системы	Увеличение цифровой безопасности и защита персональных данных
Увеличение энергетической безопасности	Управление возрастающим взаимодействием со смежными секторами экономики

** заимствовано из [113]*

Далее в рамках анализа особое внимание будет уделено возникающим задачам регулирования деятельности энергетического сектора, вызванных технологическими изменениями, смещением социальных приори-

тетов и различными глобальными событиями. Последние две категории не рассматриваются подробно, тем не менее, если говорить о них вкратце, то они включают следующие: повышение внимания к качеству жизни, устойчивости развития, социальной ответственности [114]; масштабное увеличение спроса на электрическую энергию; смена состава мировой энергетической корзины [115].

Рассмотрим подробнее все задачи регулирования.

1. ***Снижение негативного влияния на окружающую среду и здоровье населения.***

В зависимости от своей структуры инфраструктура генерации электрической энергии оказывает существенное влияния на локальное и региональное качество воздуха, здоровье населения, водные ресурсы и уровень выбросов различных веществ в атмосферу. Цели по снижению негативного влияния на окружающую среду могут конфликтовать с целями по поддержанию уровня издержек на приемлемом уровне, обеспечению растущего спроса на электрическую энергию и поддержанию надежности работы системы. Для одновременного достижения всех поставленных целей энергетические компании могут быть вынуждены инвестировать в дорогостоящие технологии ограничения выбросов, а в отдельных случаях даже выводить из эксплуатации объекты генерации (что оказывает давление на запасы мощности). Роль регуляторов в этом вопросе должна заключаться в обеспечении стабильности развития сектора и балансировании вопросов заботы об окружающей среде и вопросов развития электроэнергетической системы (которая в том числе является социальным благом) [116].

2. Удовлетворение растущего спроса на электрическую энергию при минимизации негативного влияния на окружающую среду.

Балансирование между удовлетворением растущего спроса на электрическую энергию (вследствие увеличения количества ее пользователей и продолжающейся электрификации различных секторов экономики), поддержания приемлемого уровня цен и заботой об окружающей среде является сложной задачей. Энергоэффективность играет в этом вопросе ключевую роль. Следование стратегии дешевых инвестиций в генерацию может привести к излишнему фокусированию энергокомпаний на использовании видов топлива и объектов генерации, которые могут стать источником волатильности цен [117, 118]. Подобные инвестиции могут также привести к ситуации, когда в результате декарбонизации отрасли сделанные ранее инвестиции станут невозвратными (установленные генерирующие мощности не будут соответствовать норме выбросов). В связи с этим решения по расширению мощностей должны носить взвешенный характер и принимать во внимание вопросы энергоэффективности [116].

3. Поддержка поставок электрической энергии от ВИЭ.

Для успешного внедрения возобновляемых источников энергии регуляторам необходимо разрабатывать пакеты мер по стимулированию их

развития и решать вопросы интеграции в электроэнергетическую систему. Такие меры могут включать стимулирующие тарифы [119], надбавки за мощность [120], долгосрочные контракты [121]. Это позволит достичь поставленных целей по удельному весу ВИЭ в структуре генерации, одновременно обеспечивая приемлемый уровень издержек для потребителей. С точки зрения тарифного регулирования, основной задачей является правильный расчет тарифа – с учетом снижения стоимости генерации электроэнергии на ВИЭ и снижения стоимости введения в эксплуатацию новых генерирующих установок, использующих возобновляемые источники [116].

4. Интеграция возобновляемых и распределенных источников энергии в сеть.

В задачи регуляторов входит установление правил, которые обеспечивают надежное и бесперебойное функционирование энергетической системы, а также позволяют корректно распределить издержки по интеграции ВИЭ между различными стейкхолдерами. Регуляторам необходимо разрабатывать протоколы взаимодействия различных объектов инфраструктуры, стандарты напряжения, а также решать другие вопросы качества электрической энергии. В зоне их ответственности также находятся вопросы установления финансовых взаимоотношений между генераторами, сетевыми организациями и потребителями, включая: установление сетевых тарифов, стоимости технологического присоединения, тарифов на содержание сетей. Бизнес-модели нетрадиционных генераторов могут противоречить традиционным, поэтому выгоды и издержки от внедрения ВИЭ должны быть справедливо распределены между всеми заинтересованными сторонами. По мере роста пенетрации распределенных источников от регуляторов будет требоваться более активное планирование, управление и надзор за работой электроэнергетической системы [122].

5. Внедрение мер по стимулированию энергетической эффективности, управлению спросом, внедрению технологий интеллектуальных сетей.

Энергоэффективность, управление спросом и программы интеллектуальных сетей предоставляют низкозатратные возможности для удовлетворения растущего и неудовлетворенного спроса на электрическую энергию, снижения давления на резервные мощности и создания добавленной ценности для конечных потребителей. Системы «интеллектуальных сетей» могут также облегчать интеграцию источников распределенной генерации [123], а системы интеллектуального учета являются критически важными для внедрения тарифов, различающихся по времени суток или динамичного ценообразования для управления спросом и влияния на поведение потребителей [124, 125]. Тем не менее, эти системы могут создавать конфликт с бизнес-моделями традиционных участников и традиционными регуляторными моделями. Поэтому в задачи регулятора входит распределение выгод, затрат и рисков, связанных с внедрением различных программ энергоэффективно-

сти и управления спросом между всеми участниками процесса. В их задачи может также входить разработка прозрачных и устойчивых протоколов для измерения выгод от внедрения подобных программ.

6. Внедрение технологий локальных сетей.

В зрелом состоянии локальные сети предоставляют возможности увеличивать устойчивость перед перебоями и кибератаками, предоставлять дополнительные услуги и стимулировать развитие распределенных источников генерации [126, 127, 128]. Тем не менее, сам процесс развития локальных сетей создает для компаний продолжительные проблемы расширения доступа к электрической энергии (расширение сети «снизу вверх» создает уникальную возможность для расширения доступа [129, 130, 131, 132, 133, 134]). Но эти новые возможности создают трудности для регуляторов. Им необходимо устанавливать протоколы связи и стандарты работы, создавать упрощенные процессы получения разрешений, стимулировать развитие устойчивых бизнес-моделей и справедливо распределять издержки и риски.

7. Стимулирование участия потребителей в электроэнергетическом секторе.

Благодаря новым технологиям и соответствующим бизнес-моделям потребители теперь получили возможность прямого участия в электроэнергетическом рынке, а выгоды от подобного участия доступны как самим потребителям, так и всей системе [135, 136]. Более активное поведение потребителей создает для регуляторов новые вызовы: необходимо управлять рисками, надежностью и качеством поставок электрической энергии. Для этого необходима разработка новых структур тарифов, динамических рыночных систем ценообразования, правил агрегации спроса, правил проведения рыночных торгов электрической энергией [137, 138, 139, 140].

8. Увеличение цифровой безопасности и защита персональных данных.

По мере внедрения более сложных ИКТ-систем в энергетических системах возникают соответствующие проблемы, связанные с обеспечением цифровой безопасности и защиты персональных данных [141]. В роль регуляторов входит внедрение вопросов защиты безопасности и личных данных в системы планирования безопасности работы электроэнергетических систем [105, 142]. Аналогично возрастающие объемы генерируемых данных приводят к необходимости находить способы защиты этих данных от использования в негативных целях.

9. Управление возрастающим взаимодействием со смежными секторами экономики.

По мере развития электроэнергетического сектора и появления в нем новых участников повышается необходимость координации политики в вовлеченных секторах. Решения должны приниматься согласованно, а политики, регулирующие поведение экономических агентов в этих от-

раслях, не должны противоречить друг другу. Компаниям должно быть интересно и выгодно принимать участие в развитии электроэнергетического сектора путем внедрения в него своей экспертизы и технологий.

2.3.2. Анализ регуляторных механизмов в электроэнергетике

Ускорение процессов «энергетического перехода» и цифровизации в энергетике в совокупности с изменением требований регулирующих органов в значительной степени меняют традиционные роли игроков на рынке и определяют необходимость привлечения дополнительных инвестиций в технологическое развитие предприятий отрасли. Энергетические компании должны соответствовать требованиям по качеству и надежности электроснабжения и обеспечивать безопасность окружающей среды в условиях растущей конкуренции, что требует максимизации надежности, производительности и гибкости инфраструктуры и оборудования при снижении операционных затрат и затрат на текущее обслуживание и ремонт [143].

Требования регулятора, главным образом, касаются тарифов на электроэнергию, и данное ограничение напрямую затрагивает необходимость более эффективного управления затратами на обслуживание и развитие инфраструктуры. Становится очевидным, что распространение возобновляемых источников энергии, совершенствование технологии хранения электроэнергии, повышение энергоэффективности, изменение потребительского поведения и прочие факторы влияют на оценку рыночной стоимости энергетических компаний. В долгосрочной перспективе данные факторы неизбежно негативно отразятся на стоимости как генерирующих, так и электросетевых компаний, которые вынуждены будут менять свои бизнес-модели. Снижение стоимости компаний будет в значительной степени зависеть от политики регулятора, а для инвесторов будет значительно усложняться процесс прогнозирования динамики доходов от их вложений в долгосрочном периоде.

В процессе приватизации регулируемых монополий (электроэнергетика, коммунальное водоснабжение и т. д.) государство преследует цель привлечения частных инвестиций в развитие инфраструктуры, но, с другой стороны, должно выполнять свою социальную функцию и защищать потребителей от необоснованного роста цен. Поэтому устанавливаются допустимые уровни доходности на средства, вложенные в производственные активы, для компаний, чья деятельность подлежит регулированию [144].

Привлечение крупных инвестиций для обновления физически и морально устаревших основных фондов требует такой регуляторной политики, которая могла бы обеспечить приемлемые уровни риска и дохода для инвесторов, а также повысила бы прозрачность принятия управленческих решений и ответственность менеджеров за реализацию долгосрочных инвестиционных программ.

Существуют различные методы регулирования тарифов на электроэнергию, среди которых:

– *затратный метод* («cost plus»), который обеспечивает получение целевой нормы прибыли на понесенные затраты и учитывает только текущие затраты при отсутствии инвестиционной составляющей;

– *метод индексации*, который предполагает ежегодное увеличение тарифов на основе прогнозного темпа роста инфляции, данный метод используется главным образом для определения предельных уровней тарифов;

– *метод эталонов* (benchmarking/reference firms/norm models/yardstick competition), который предполагает наличие двух составляющих тарифа – постоянный размер затрат (унифицированная величина для всех сетевых компаний – эталон) и инвестиционная составляющая с учетом возможности наращивать тариф;

– *метод доходности инвестированного капитала* (Regulatory Asset Base – RAB) – долгосрочное регулирование (на 3–5 лет), направленное на привлечение инвестиций в развитие и модернизацию инфраструктуры и повышение эффективности затрат.

В настоящее время метод доходности инвестированного капитала является одним из основных инструментов регулирования тарифов, который может быть реализован несколькими способами, например, «стимулирующим методом» (incentive based), ограничение выручки, цены или дохода (revenue/price/income cap), или могут быть внедрены смешанные модели (с применением метода эталонов), как показано на рис. 2.21 на примере Европейского Союза [145].

Во многих странах Европы и Северной Америки, а также в Австралии, регуляторами применяется многокомпонентная методология (building block model), включающая несколько компонентов – средневзвешенная стоимость капитала (определяется регулятором как «обоснованная»), стоимость регулируемых активов компании, предполагаемые расходы на операционную деятельность, прогнозный темп роста инфляции, а также амортизационные отчисления и капитальные затраты, необходимые для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения [144].

«Регулируемая база» на конец периода (RAB_t) определяется как стоимость регулируемых активов, в общем случае включает только активы, в которые были произведены инвестиции, то есть это та база, на которую компания имеет право получить обоснованный доход. Показатель рассчитывается следующим образом [146, 147]:

$$RAB_t = RAB_{t-1} + Capex_t - Dep_t, \quad (1)$$

где RAB_{t-1} – стоимость регулируемых активов на начало периода; $Capex_t$ – капитальные затраты за период; Dep_t – нормативный уровень амортизации за период.

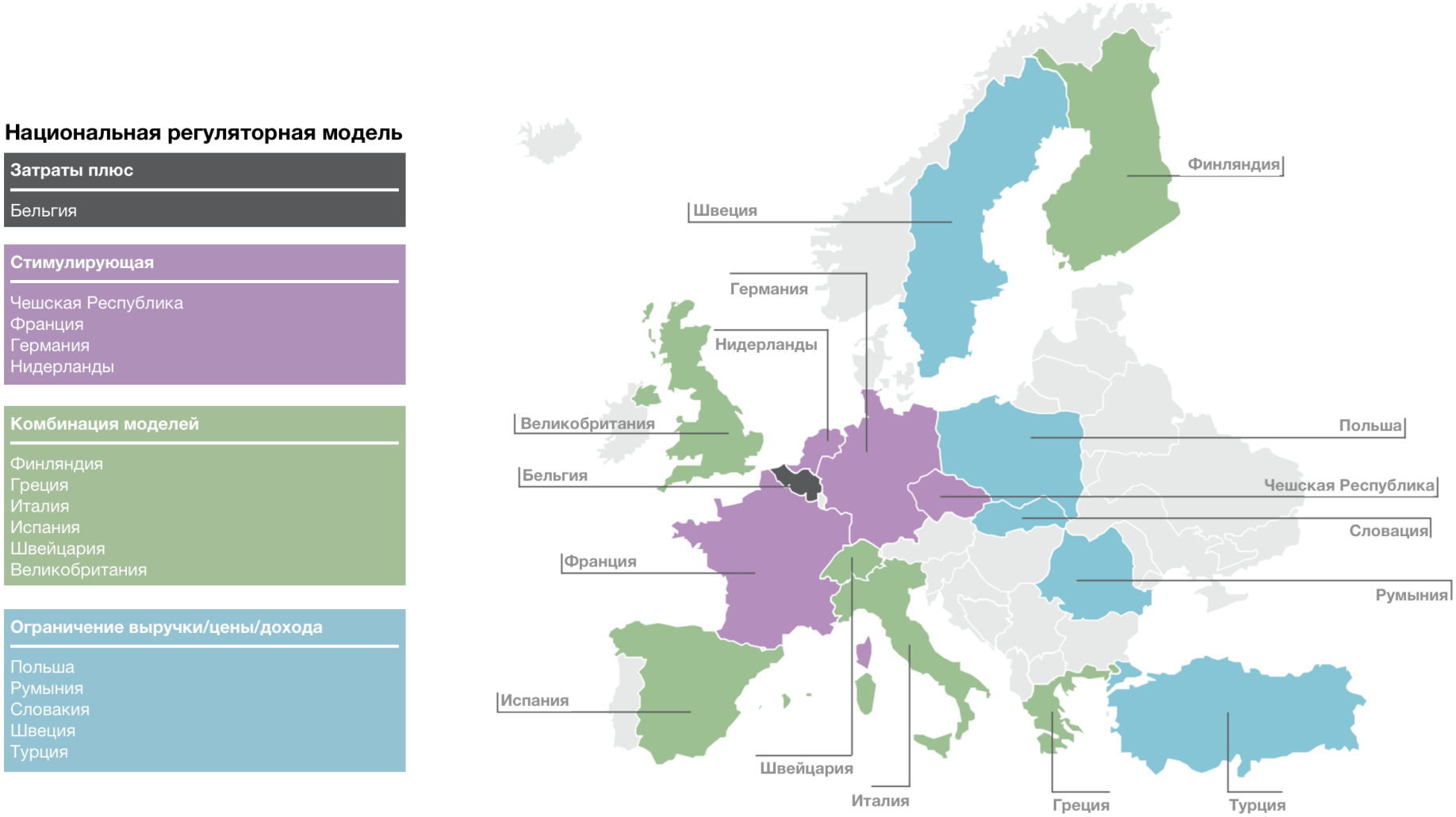

Рис. 2.21. Картирование Европейского Союза в разрезе используемых моделей тарифного регулирования

Существует несколько подходов к реализации методологии *building block model*, но в целом она предполагает два основных шага: расчет *RAB* и умножение полученного результата на средневзвешенную стоимость капитала (*WACC*), как показано на рис. 2.22 [144].

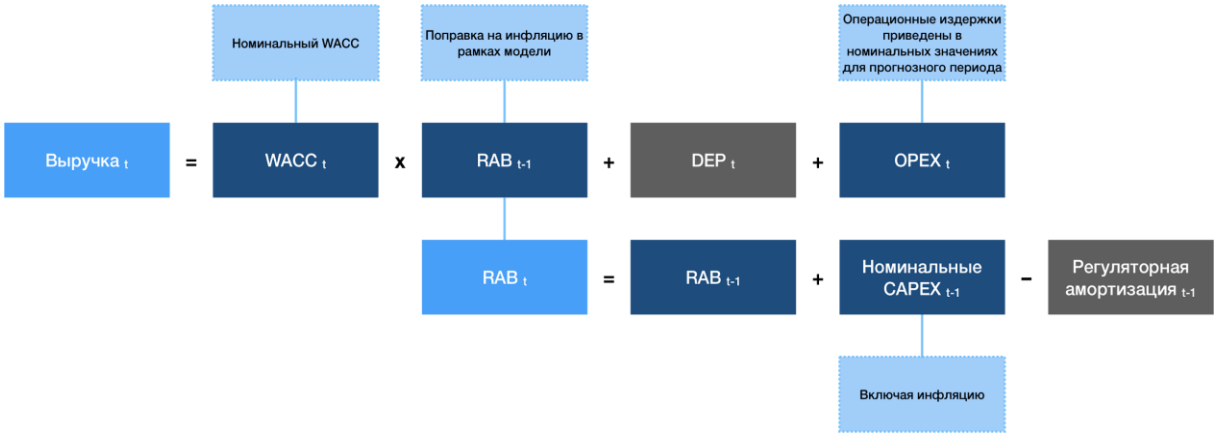

Рис. 2.22. Схема реализации методологии *building block model* (заимствовано из [144])

Смешанные модели внедряются для решения основных проблем *RAB*-регулирования, среди которых [148, 149]:

– акцент в сторону интересов электросетевых компаний, так как существенную долю в структуре тарифа занимает инвестиционная составляющая, соответственно, компании заинтересованы в ее увеличении (увеличении капитальных затрат), что негативно сказывается на цене электроэнергии для потребителя;

– соответственно, проблема определения базы инвестированного капитала по результатам независимой оценки, что может вызвать вопросы у регулятора, так как есть вероятность включения активов, не участвующих непосредственно в производственном процессе;

– проблема определения текущих затрат (можно относить к различным статьям);

– проблема длительности срока возврата инвестиций (может составлять 20–35 лет) без дифференциации активов в зависимости от их жизненного цикла (срок полезного использования у различных активов может быть разным, особенно это касается оборудования для ИЭС);

– зачастую норма доходности инвестированного капитала устанавливается нормативно (в определенных пределах, например, до 10 %), хотя должна отражать риск и доходность, т. е. определяться расчетным путем.

В различных странах реализуются различные подходы для решения вышеописанных проблем [150, 151]. Например, в Германии модель регулирования фокусируется на снижении затрат путем бенчмаркинга (сравнения) схожих операторов сетей. «Неэффективными» признаются затраты, когда компания предоставляет более дорогие (по сравнению со схожими компаниями) услуги, хотя может их контролировать и влиять на их размер.

Для того чтобы учесть новые инвестиции, ежегодный объем регулируемой выручки корректируется на «коэффициент расширения сети» (expansion factor), который зависит от числа новых подключений к сети и площади обслуживаемой территории (рис. 2.23) [145].

Электроэнергетические компании вовлечены в три основные вида деятельности: генерация, передача и распределение электроэнергии, сбыт. Несмотря на тенденции к дерегулированию отрасли, во многих странах генерирующие компании осуществляют свою деятельность в условиях рынка, также активно внедряются рыночные механизмы на розничном рынке (хотя до сих пор применяются затратные методы регулирования, ограничения по цене и метод эталонов – там, где у потребителя нет возможности выбрать сбытовую компанию, которая в таком случае является гарантирующим поставщиком (default supplier), электросетевые компании (передача и распределение электроэнергии) остаются строго регулируемыми со стороны государства в связи с тем, что это естественные монополии. Сбытовые компании, в отличие от сетевых операторов и генерирующих компаний, не вынуждены содержать инфраструктуру, но обязаны сокращать эксплуатационные затраты (аренда и содержание помещений, оплата труда и т. д.).

Инвесторы склонны оценивать активы сетевых компаний как низкорисковые из-за неэластичного спроса на услуги и высокие барьеры входа. Доход, получаемый от таких активов, обычно стабилен, а финансирование для развития таких активов привлекается по относительно низкой цене. Статистика показывает, что зачастую инвесторы готовы переплатить за покупку регулируемой сетевой компании (более чем $1 \cdot RAB$, например, как в случае с австралийской TransGrid, которая была приватизирована с премией $1{,}6 \cdot RAB$), при этом компании, чьи акции торгуются на бирже, оцениваются инвесторами выше. К причинам подобного поведения инвесторов можно отнести некоторую комбинацию факторов, перечисленных ниже [144, 146, 147, 151]:

− согласие на получение низкого, но регулируемого (гарантированного) возврата от инвестиций;

− доступ к дешевому финансированию и увеличение эффекта финансового рычага;

− получение дополнительного дохода от нерегулируемых видов бизнеса (например, энергосервисные контракты), которые не учитываются при расчете RAB, за счет оптимизации налогов и повышения операционной эффективности;

− доступ к нематериальным активам компании (техническая экспертиза, интеллектуальная собственность и т. д.);

− дополнительный рост капитальных затрат (и, соответственно, дохода от инвестиций), а также возможности расширения портфеля бизнесов (продуктовая/географическая диверсификация, несвязанная диверсификация и т. д.).

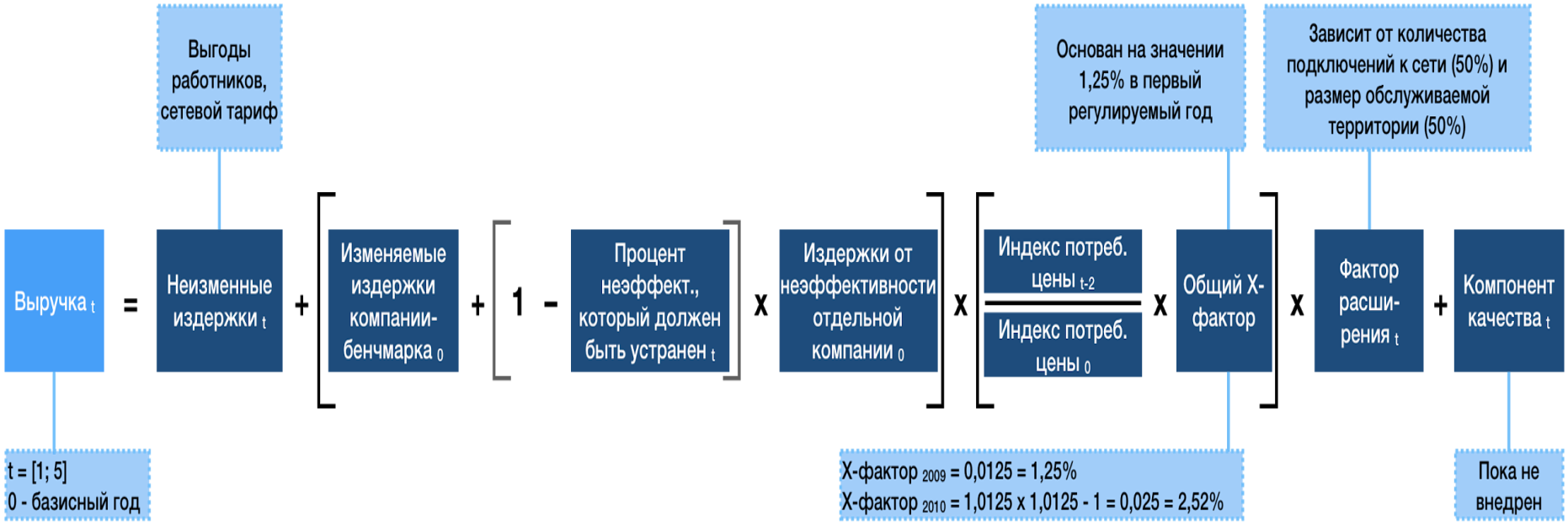

Рис. 2.23. Модель регулирования, применяемая в Германии (составлено на основании [145])

Инвесторы могут переплачивать за такой низкодоходный актив, поскольку ожидают, что дополнительные капитальные затраты (обоснованность которых подтверждена регулятором) включаются в показатель *RAB*, обеспечивая инвестору регулируемый доход от инвестиций.

Типичные драйверы роста капитальных затрат в регулируемых электроэнергетических компаниях включают [144, 145]:

– расширение сети, необходимое для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения в периоды пиковой нагрузки;

– замену устаревшей инфраструктуры (во многих странах электрификация пришлась на середину XX века, и срок эксплуатации многих элементов системы уже подходит к концу);

– приведение в соответствие с требованиями регулятора, а также соблюдение стандартов надежности электроснабжения;

– рост стоимости ресурсов, таких как трудовые и материальные (например, стоимость алюминия, меди, стали и т. д.);

– внедрение государственных программ по модернизации сектора и переходу к интеллектуальной энергетической системе (например, внедрение цифровых технологий, интеллектуальных счетчиков и пр.).

Переход от традиционных источников генерации к возобновляемым вместе с увеличением энергоэффективности и снижением спроса в период экономической рецессии серьезно отразился на генерирующих компаниях, которые функционируют в условиях рынка (так, в период с сентября 2008 по октябрь 2013 гг. европейские традиционные генерирующие компании потеряли до трети своей стоимости, что составляет примерно половину триллиона евро). Вопрос заключается в том, насколько данные изменения и изменения в потребительском поведении отразятся на электросетевых компаниях в средне- и долгосрочной перспективе. Регулируемые операторы сетей оказались защищены от этих изменений, согласно данным фондовых бирж, электросетевые компании торговались с премией относительно генерирующих компаний (на примере данных из США – рис. 2.24 и Европы – рис. 2.25) [144].

Стоимость активов является ключевым драйвером выручки и стоимости электросетевых компаний. Показатель *RAB* определяется на основе стоимости инфраструктуры (регулируемых активов – на рис. 2.26 выделены зеленым), а именно передающих (высоковольтные линии доставляют электроэнергию от электростанций до подстанций) и распределяющих (низковольтные линии доставляют электроэнергию до конечного потребителя – домохозяйств и бизнеса) сетей, как показано на рис. 2.26.

Увеличение размера сети зависит от прогнозного роста спроса в периоды пиковой нагрузки, а не роста совокупного спроса на электроэнергию. Неспособность обеспечить электроснабжение в периоды пиковой нагрузки может привести к перебоям в подаче электроэнергии и повлияет на надежность сети и бизнес в целом. Для обеспечения надежности сети

регуляторы позволяют нести электросетевым компаниям капитальные затраты (и получать обоснованный возврат от инвестиций), чтобы гарантировать способность сетей выдерживать пиковые нагрузки. Чтобы прогнозировать будущие капитальные затраты, необходим надежный прогноз роста спроса в периоды пиковых нагрузок [149].

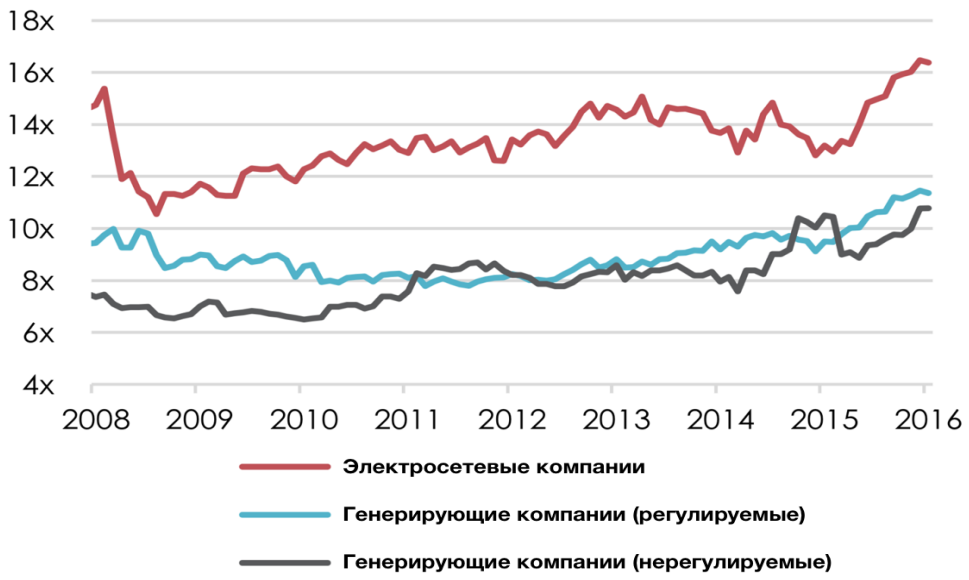

Рис. 2.24. Динамика показателя «мультипликатор EBITDA» для энергетических компаний США (заимствовано из [144])

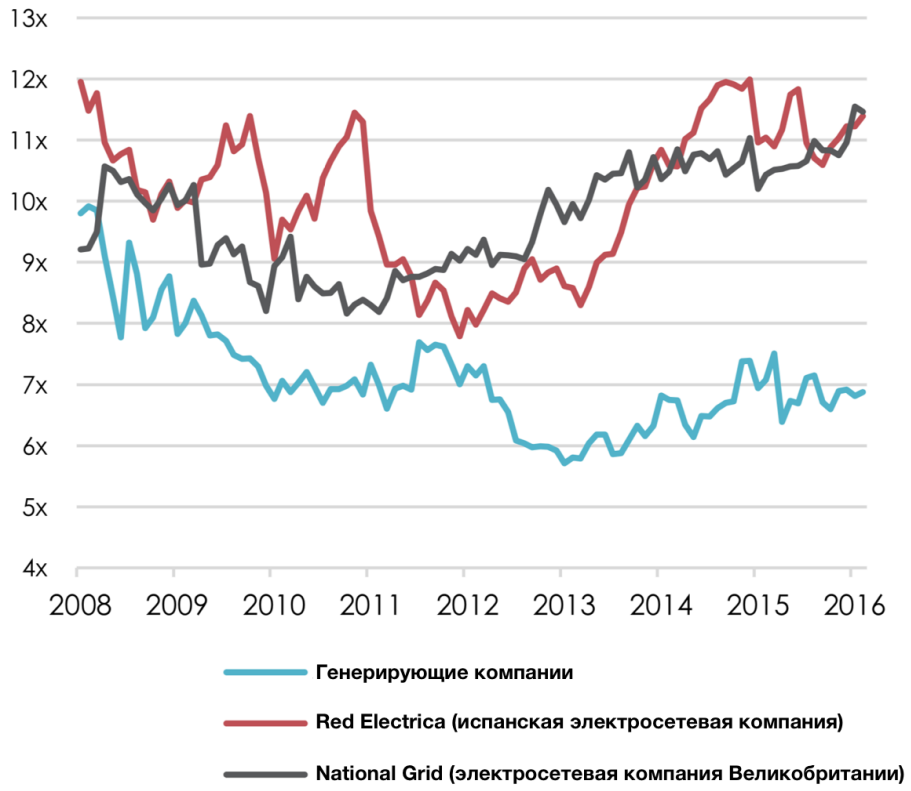

Рис. 2.25. Динамика показателя «мультипликатор EBITDA» для выбранных энергетических компаний США (заимствовано из [144])

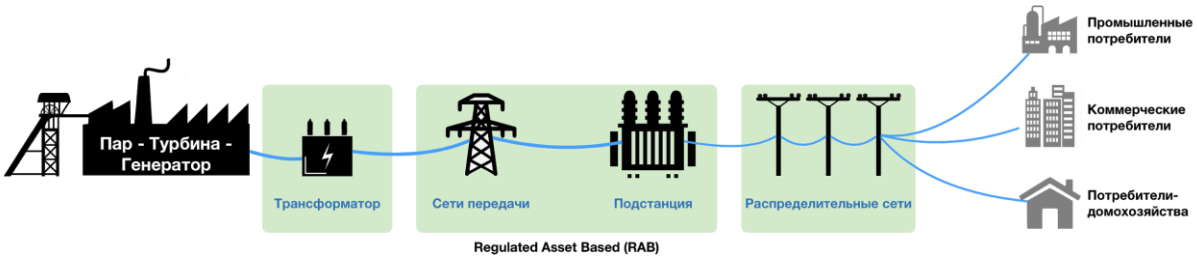

Рис. 2.26. Сегменты цепочки создания ценности, выступающие в качестве основы для определения *RAB* (составлено на основании [144])

Исторически темпы роста совокупного спроса и спроса в периоды пиковой нагрузки были схожими, однако с конца XX – начала XXI веков, когда в развитых экономиках наблюдался рост спроса на энергоемкое оборудование (например, кондиционеры), спрос в периоды пиковой нагрузки стал расти быстрее совокупного спроса. Это потребовало серьезных инвестиций в расширение сетей и, как следствие, привело к росту стоимости электроэнергии для потребителей [144].

С 2010 г. этот тренд пошел на снижение как в Европейском Союзе (рис. 2.27), так и в США (рис. 2.28), так как получили распространение новые технологии, такие как фотовольтаика, а также стала расти энергоэффективность в целом (например, появились более эффективные системы освещения), что отразилось как на совокупном спросе, так и на спросе в периоды пиковой нагрузки [152].

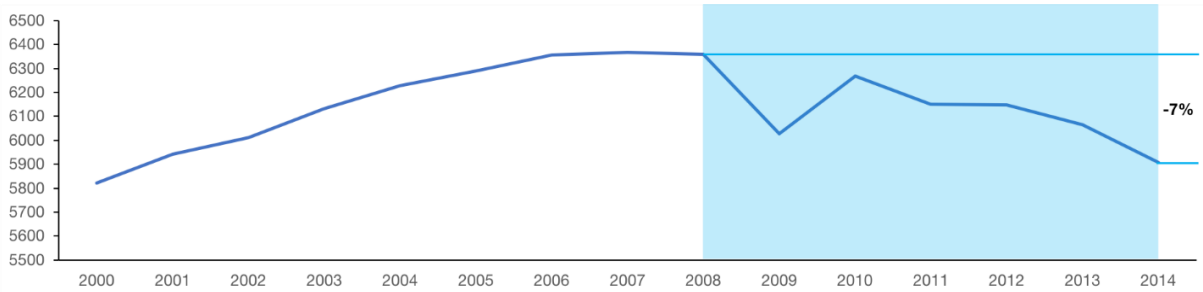

Рис. 2.27. Динамика потребления электрической энергии в Европейском Союзе (кВт·ч на душу населения) в 2000–2014 гг. (составлено на основании [152])

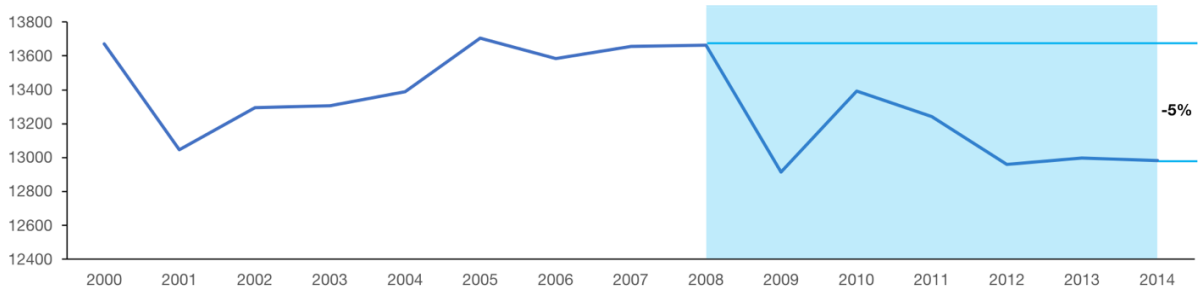

Рис. 2.28. Динамика потребления электрической энергии в США (кВт·ч на душу населения) в 2000–2014 гг. (составлено на основании [152])

Это снижение спроса не было спрогнозировано должным образом операторами сетей и регуляторами, что привело к тому, что размер сетей оказался больше, чем требуется для удовлетворения потребности в электроэнергии.

Слишком оптимистичные прогнозы привели к росту капитальных затрат и, соответственно, росту цен (рис. 2.29 и 2.30), поскольку цены зависят от объема потребления, требуемого уровня доходности, показателя *RAB* (т. е. капитальных затрат), операционных затрат и амортизации [152].

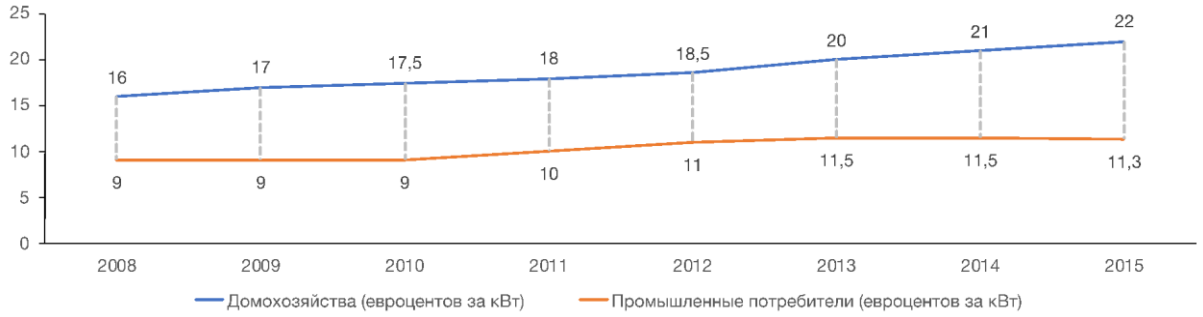

Рис. 2.29. Динамика розничных цен на электроэнергию в Европейском Союзе в 2008–2015 гг. (евроцентов за кВт·ч) (составлено на основании [153])

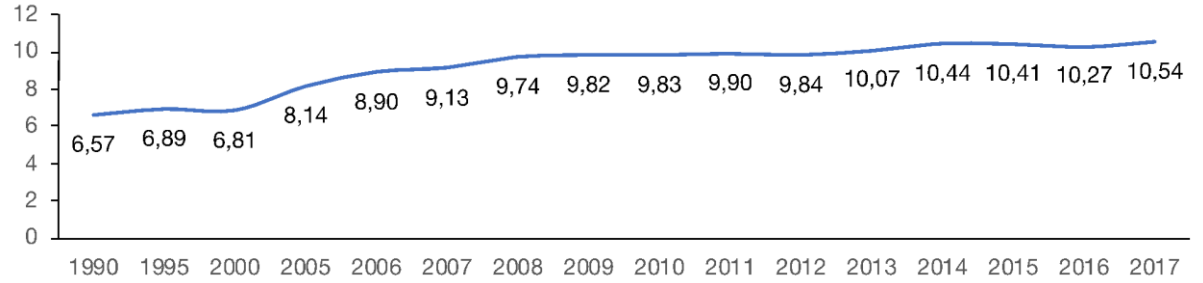

Рис. 2.30. Динамика розничных цен на электроэнергию в США в 1990–2017 гг. (центов за кВт·ч) (составлено авторами на основании [154])

Ускоренная адаптация новых энергоэффективных технологий и политические последствия выросших цен на электроэнергию означают, что операторам сетей все сложнее будет увеличивать показатель *RAB* в будущем, то есть будет сложнее спрогнозировать капитальные затраты, которые напрямую влияют на выручку компаний.

Описанные выше тенденции снижения потребности в дополнительной мощности и пропускной способности сети в часы пик из-за распространения распределенных источников энергии (включая собственную генерацию у потребителей) и применения практики энергоэффективности в будущем приведут к тому, что компаниям станет сложнее обосновывать расширение собственной инфраструктуры и включения подобных активов в показатель *RAB*. Приведенный ниже пример распространения солнечной генерации является доказательство тому, что энергетические компании

в ближайшем будущем столкнутся с определенными трудностями (подробнее – см. ниже: «спираль смерти») в развитии собственной инфраструктуры – есть все основания утверждать, что спрос на «балансирующие» мощности будет снижаться.

Распространение солнечной генерации в развитых странах считается одной из ключевых причин снижения совокупного спроса и спроса в периоды пиковой нагрузки. Субсидии государства и снижение стоимости технологии привели к резкому росту спроса во многих странах на солнечные батареи, установленные на крышах жилых домов. Это привело к развитию концепции «смертельной спирали» для электроэнергетических компаний, которая заключается в том, что потребители будут все больше и больше переходить на использование солнечных панелей и накопителей электроэнергии, что позволит им отключиться от сети. Поскольку сетевые компании вынуждены содержать инфраструктуру, им придется повышать цены, что в свою очередь будет мотивировать потребителей переходить на солнечные панели и отключаться от сети [155, 156, 157] (рис. 2.31).

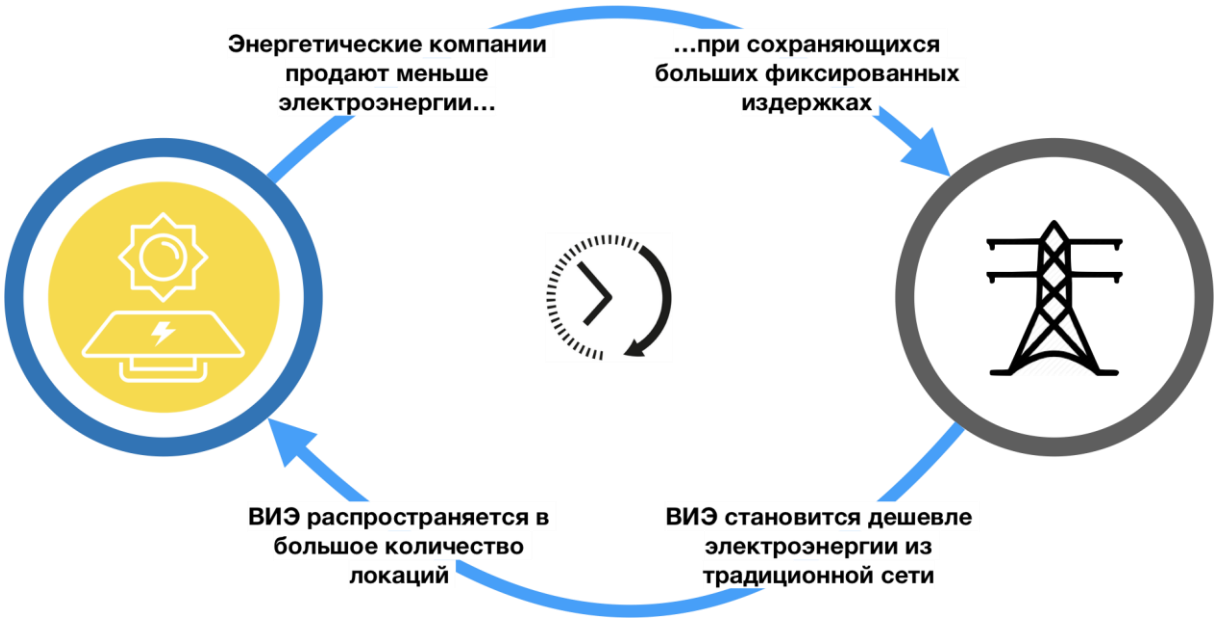

Рис. 2.31. «Спираль смерти» энергетических компаний

Хотя установка солнечных панелей на крышах жилых домов за последние 10 лет была ключевым фактором для снижения совокупного спроса на электроэнергию, на текущий момент это оказало реальное влияние в основном на генерирующие компании. Сетевые компании защищены, поскольку их доход зависит от *RAB*, а не от объема электроэнергии, который они передают конечному потребителю. Нельзя сказать, что на данный момент существует серьезная угроза отключения потребителей от единой сети.

Тем не менее, следует учитывать тот факт, что операторам сетей по-прежнему приходится содержать сетевую инфраструктуру, емкость кото-

рой рассчитана на больший по сравнению с реальным пиковый спрос (имеет место «запас прочности», содержание которого включается в сетевой тариф).

На рис. 2.32 показан график потребления электроэнергии при условии установки солнечных панелей с установленной мощностью 3 кВт на крыше дома (Мельбурн, Австралия) [144].

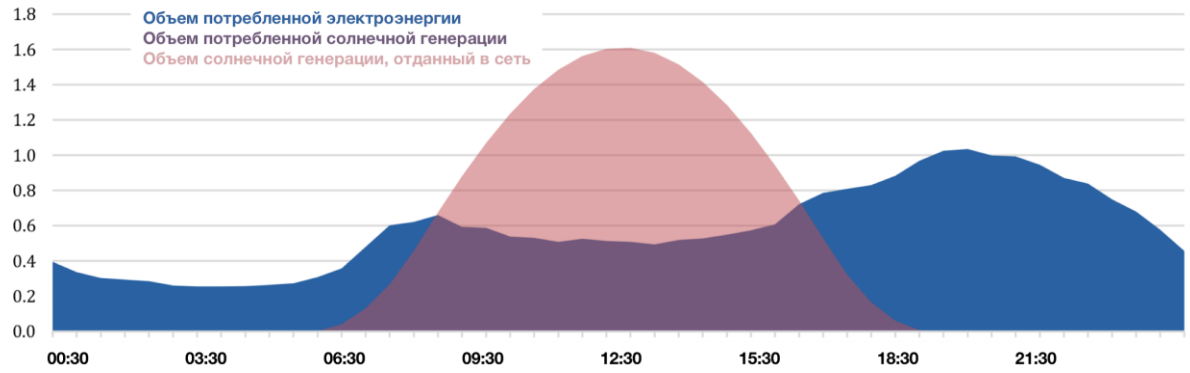

Рис. 2.32. График потребления электроэнергии при условии установки солнечных панелей с установленной мощностью 3 кВт на крыше дома (заимствовано из [144])

Очевидно, что солнечные панели снабжают домохозяйства в светлое время суток (и даже вырабатывают больше, чем потребляется, что позволяет отдавать излишки в сеть) и в среднем после 18:30 вечера перестают вырабатывать электроэнергию.

Это означает, что домохозяйствам по-прежнему требуется подключение к единой сети для доступа к электроэнергии в темное время суток.

С другой стороны, способность хранить выработанную в течение дня электроэнергию (в случае совершенствования технологии аккумуляторных батарей) позволит домохозяйствам отключаться от сети, так как они потенциально смогут полностью обеспечить себя электроэнергией. Однако высокая стоимость переключения от единой сети позволяет заключить, что в кратко- и среднесрочном периоде такая угроза отсутствует. Кроме того, сеть обеспечивает более высокий уровень надежности (рис. 2.33) [144]. Тем не менее, на более длительном горизонте критически важно учитывать подобную тенденцию – инвестиционные планы сетевых компаний зачастую носят долгосрочный характер – необходимо понимать, за счет каких механизмов в условиях снижения пикового спроса можно обеспечивать обслуживание и обновление инфраструктуры.

Постепенное совершенствование фотовольтаики и аккумуляторов приведет к снижению стоимости технологии и, соответственно, повысит мотивацию отключения от сети, однако на текущий момент сложно спрогнозировать массовое отключение потребителей. Возможно, наиболее привлекательным такой вариант будет для малонаселенных и удаленных тер-

риторий, для которых подключение к сети дороже, чем для урбанизированных территорий. Также совершенствование технологии необязательно приведет к отключению потребителей от сети, но использование накопителей большой мощности позволит выравнивать спрос в периоды пиковой нагрузки. Выравнивание или снижение спроса в периоды пиковой нагрузки будет иметь непосредственное влияние на операторов сетей, а также на уровень их капитальных затрат и дохода [155].

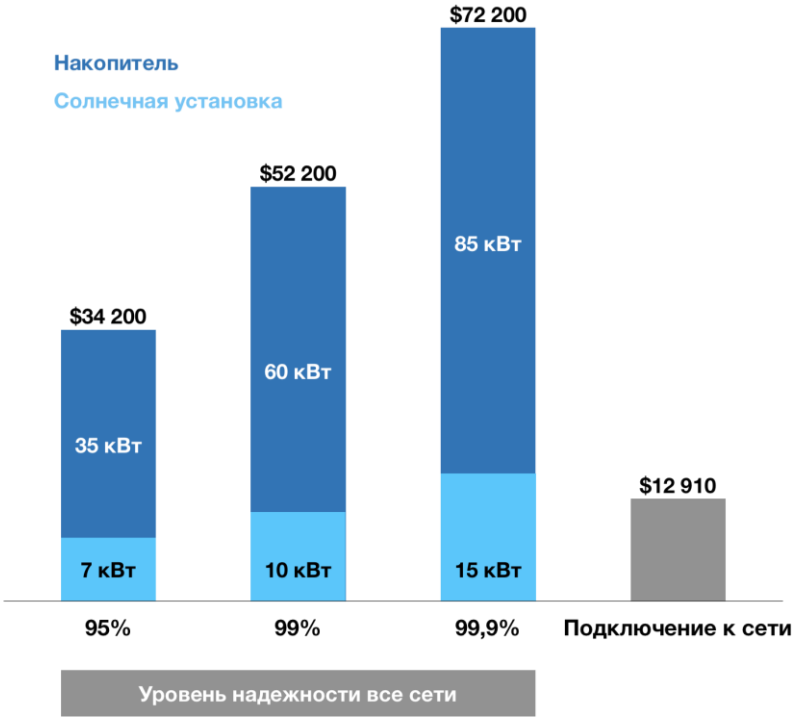

Рис. 2.33. Стоимость первоначальных инвестиций при установке автономной энергетической системы (заимствовано из [144])

В подобных условиях регуляторам придется пересмотреть свои практики как в отношении генерирующих компаний, так и в отношении сетевых операторов, – необходимо будет искать источники средств для поддержания и обновления инфраструктуры, а также решать проблему усиления перекрестного субсидирования.

Изменения, связанные со снижением спроса в пиковые периоды, затронут и процесс ценообразования. В настоящий момент структура тарифа большинства сетевых операторов включает ставку на содержание электрических сетей и ставку за передачу электроэнергии (в зависимости от объема потребления). Однако в некоторых странах начинают внедрять структуру тарифа, которая также отражает ставку за потребление электроэнергии в периоды пиковой нагрузки.

Это неизбежно отразится на формировании потребительского поведения и будет стимулировать снижение потребления в периоды пиковой нагрузки.

В то же время это повышает неопределенность прогнозирования периодов пиковой нагрузки в будущем, а значит и показателя *RAB* для операторов электрических сетей.

В большинстве развитых стран подходы к регулированию электроэнергетики были разработаны в период медленных технологических изменений, соответственно, встает вопрос их соответствия текущей ситуации и технологическим изменениям в рамках развития и распространения ИЭС:

– рост объемов двунаправленной передачи электроэнергии в сети, что требует более активного управления энергосистемой;

– повышение эффективности решений для автономного производства электроэнергии;

– возможности использования распределенных энергоресурсов (избежание или отсрочка капитальных затрат в традиционную генерацию) и высокоемких накопителей энергии для операторов сетей;

– совершенствование инструментов прогнозирования спроса;

– изменение потребительского поведения и адаптация новых технологий.

Учитывая данные тенденции, регуляторы будут вынуждены пересматривать свою политику и нормативно-правовую базу. Наиболее распространенные практики регулирования деятельности энергетических компаний даны выше и на рис. 2.34.

Так, например, в США некоторые штаты уже отделили выручку интегрированных компаний от объема спроса. На глобальном уровне регуляторы позволяют компаниям увеличивать тарифную составляющую на содержание инфраструктуры, чтобы обеспечить компенсацию за снижение спроса [160].

Электроэнергетическая инфраструктура, в частности, электрические сети, воспринимаются как низкорисковое вложение, способное принести стабильный доход от инвестиций. Однако, учитывая описанные выше факторы (совершенствование технологий, развитие возобновляемых источников энергии и изменения в потребительском поведении), существует высокий уровень неопределенности в средне- и долгосрочной перспективе.

С одной стороны, существует угроза реализации сценария «смертельной спирали», что приведет к сокращению инфраструктуры и снижению *RAB*, с другой стороны, рост спроса на электромобили и развитие соответствующей инфраструктуры (зарядных станций) могут позитивно сказаться на развитии сетей.

Рис. 2.34. Методы регулирования деятельности энергетических компаний (составлено на основании [145, 158, 159])

2.3.3. Направления трансформации регуляторных механизмов в электроэнергетике

Несмотря на то, что формально реформирование отрасли окончено, формы и методы ценообразования продолжают меняться. В проекте Энергетической стратегии России до 2035 г. [161] указано, что необходимо совершенствовать регуляторную политику с целью снижения уровня экономической концентрации на энергетических рынках, а также повышения конкуренции, модернизации рыночных моделей и ликвидации перекрестного субсидирования.

Переход к регулированию по модели доходности инвестированного капитала в 2008 г. предполагал увеличение стимулов сетевых компаний для повышения эффективности деятельности за счет установления долгосрочных параметров регулирования, так как экономия от повышения энергоэффективности, энергосбережения и сокращения затрат остается в распоряжении компании. Кроме повышения эффективности деятельности целями перехода к новому методу регулирования тарифов было обеспечение баланса интересов производителей и потребителей, а также привлечение в отрасль большого объема частных инвестиций, необходимых для модернизации инфраструктуры.

Финансовый кризис 2008–2009 гг. способствовал снижению объемов потребления электроэнергии, росту неплатежеспособности потребителей и, соответственно, недобору выручки компаниями и дефициту оборотных средств, а ставка доходности на инвестированный капитал не соответствовала текущим экономическим условиям.

В результате регулятор был вынужден прибегнуть к промежуточному варианту регулирования – долгосрочной индексации тарифов, что серьезно ограничило возможность компаний реализовать инвестиционные планы. Несмотря на все достигнутые успехи в процессе реформирования отрасли, в настоящее время регулятор так и не добился формирования непротиворечивых и последовательных правил. Непоследовательность политики не привела к ожидаемым результатам от внедрения *RAB*-регулирования – оценка недофинансирования инвестиционных программ сетевого комплекса составляет 40 % [148].

Метод регулирования должен быть долгосрочным, обеспечивать минимальный рост тарифа при максимальном объеме инвестиций, а также доход инвестору.

С 2018 г. система регулирования тарифов в сфере электроэнергетики претерпевает очередные глубокие изменения. Начинает действовать методика формирования эталонной сбытовой надбавки к тарифам на электроэнергию. С 2019 г. метод эталонов будет применяться и для электросетевых компаний, а к 2021 г. планируется применение данного метода и для генерирующих компаний.

Изменение политики регулятора должно обеспечивать условия для развития инноваций и распространения ИЭС. Ключевые вопросы, которые должны быть решены, связаны с ценообразованием, моделью регулирования дохода, внедрением более совершенных методов планирования развития энергосистемы, а также развитием и интеграцией распределенных энергоресурсов. Практика показывает, что наиболее распространенными являются смешанные модели регулирования, направленные на стимулирование инвестиций. Один из подходов предполагает расчет на основе результатов (outcomes-based) и полных затрат (total expenditure). Этот расчет направлен на развитие инноваций и повышение эффективности энергосистемы.

Регулирование на основе результатов предполагает, что поощряется достижение конкретных целей политики (повышение энергоэффективности, удовлетворение спроса в период пиковых нагрузок, совместное использование данных и т. д.), а не внедрение определенных технологий. Подход, основанный на полных затратах, должен стимулировать компании инвестировать не только в развитие дополнительной инфраструктуры (генерирующего, сетевого оборудования), но и также в цифровые технологии и распределенные энергоресурсы [6].

Одним из примеров является модель RIIO (revenue = incentives + innovation + outputs), которая применяется в Великобритании. Размер дохода операторов передающих и распределяющих сетей привязан к определенным показателям эффективности, а также модели полных затрат, которая включает как капитальные, так и операционные затраты. Это является попыткой оценить полную стоимость актива в течение его жизненного цикла и избежать стимулирования роста только капитальных затрат. Таким образом, компании стараются внедрять инновационные решения (управление спросом, накопители и т. д.) как альтернативу для расширения инфраструктуры. Более того, традиционная модель владения активами меняется за счет развития различных видов сервиса (например, облачное хранение данных). Операторы сетей, которые стремятся к внедрению инновационных подходов для достижения целей, поставленных регулятором, могут рассчитывать на увеличение доходности инвестиций [6].

Динамическое ценообразование является еще одним значимым компонентом для развития ИЭС, так как определяет характер взаимодействия потребителя с сетью. При динамическом ценообразовании потребитель заинтересован в снижении потребления электроэнергии в периоды с высокой ценой (пиковая нагрузка), снижая таким образом нагрузку на сеть. При этом важно отметить, что разница в ценах в период пиковой нагрузки и в другие периоды должна быть достаточно большой, чтобы потребители действительно реагировали на ценовые сигналы. Практика показывает, что подобный подход может привести к снижению совокупного объема по-

требления электроэнергии до 10 % и снизить потребление в период пиковых нагрузок до 50 %. Многие сетевые операторы в Калифорнии с 2016 г. предлагают на рынке «на сутки вперед» различные цены, меняющиеся в течение дня. В Испании цены также публикуются за сутки, и разница между самой низкой и самой высокой ценой может составлять до 20 %. Для обеспечения точности измерения потребления электроэнергии по часам внедряются цифровые измерительные приборы [6].

Стимулирование компаний повышать эффективность деятельности должно состоять из стимулов к снижению потерь электроэнергии и повышению эффективности эксплуатации системы (внедрение нового оборудования, а также внедрения технологий ИЭС для сглаживания нагрузок в пиковые периоды), которые могут выражаться специальными коэффициентами, используемыми при принятии решении об ограничениях дохода [162].

Одной из основных целей внедрения более совершенных моделей регулирования является преодоление непоследовательности регуляторной политики, которая меняется в кратко- и среднесрочном периоде (time inconsistency problem). *RAB*-регулирование и смешанные модели (с применением метода эталонов и ограничениями по выручке, цене или доходу) подразумевают стимулирование монополий со стороны государства за счет имитации конкурентных условий деятельности, однако это может привести к неоправданному росту капитальных затрат и недостаточному повышению операционной эффективности.

С другой стороны, развитие таких компонентов ИЭС, как распределенные энергоресурсы, возобновляемые источники энергии, управление спросом и прочее могут быть осуществлены, в том числе, через инструмент государственно-частного партнерства. В таком случае стоимость финансирования возрастает, однако растет и операционная эффективность за счет наличия конкуренции за контракты. Также государственно-частное партнерство является гибким инструментом, который предполагает возможность менять условия контракта в течение всего периода выполнения проекта, однако эти изменения могут быть рассмотрены как дополнительный риск для инвестора, что может привести к еще большему удорожанию финансирования. В случае с различными схемами *RAB*-регулирования изменения (пересмотр цен) вносятся регулятором и более структурированы.

Существуют подходы, объединяющие обе модели при выполнении инвестиционных проектов – на первом этапе создается юридическое лицо специального назначения, которое отвечает за этап строительства объекта инвестиций, после чего регулятор принимает решение об обоснованности стоимости строительства и включает новый актив в показатель *RAB*, т. е. происходит рефинансирование долга по более низкой ставке в соответствии с моделью регулирования тарифов.

Государственное регулирование тарифов на электроэнергию в Российской Федерации существенно менялось на протяжении последних десятилетий. Детализация факторов, определяющих конечную цену, позволила потребителям и производителям более активно принимать участие в процессе, а также стимулировала повышение операционной эффективности электроэнергетических компаний с одной стороны, а с другой – оптимизацию расходов потребителей.

Однако следствием детализации является усложнение процесса, что в свою очередь приводит к более высоким требованиям к квалификации регулирующих органов, а также регулируемых компаний и конечных потребителей. Роль регулятора остается на очень высоком уровне, и решения, принимаемые по вопросам ценообразования в энергетике, носят политический характер. К тому же наблюдается непоследовательность в принятии решений [163]. Описанные выше возможные направления трансформации регуляторных механизмов направлены на снижение данных негативных тенденций и могут быть взяты за основу при рассмотрении и поддержке крупных инвестиционных проектов по развитию ИЭС в России.

Принимая во внимание российские особенности энергетической сферы, а также характер реализации государственной политики в этой области, ключевыми направлениями трансформации регуляторных механизмов должны стать: прозрачность, стабильность и конкурентность.

Учитывая взятый курс на либерализацию отрасли, необходимо создавать долгосрочные стимулы к повышению эффективности деятельности компаний (к примеру, долгосрочные сетевые тарифы взамен гарантированной выручки; унификация затрат сбытовых организаций – с тем, чтобы у них были экономические стимулы для снижения издержек); стимулировать экономически обоснованные и действительно необходимые инвестиции (в особенности в сегменте сетей); повышать инвестиционную привлекательность компаний сектора.

Стабильность деятельности компаний сектора можно обеспечить за счет выстраивания долгосрочных договоренностей с органами власти различного уровня: к примеру, энергетическая компания берет на себя обязательства по повышению эффективности своей деятельности и постоянному осуществлению инвестиций в модернизацию активов, а органы власти гарантируют ей сохранение тарифа на протяжении определенного промежутка времени.

В настоящее время существуют достаточно большие разбросы значений издержек и сбытовых надбавок (которые могут достигать 5 раз [164]), поэтому стимулировать инвестиции и повышение эффективности можно следующим образом: в тех случаях, когда у компании существует положительное отклонение от эталона (к примеру, сбытовая надбавка превышает эталонную) – подобное превышение можно направлять на модернизацию инфраструктуры.

Аналогичный метод эталонов следует применять и в отношении сетевых компаний. Но здесь следует четко разграничивать издержки, на которые компания может и не может оказывать влияние. К последним, к примеру, относятся издержки на оплату труда персонала. Необходимо сравнивать похожие сетевые компании в части первой категории издержек и стимулировать их устранение в течение установленного периода времени (подобная практика применяется в Германии).

Таким образом, основным фокусом изменений методов регулирования в рамках развития ИЭС должны стать повышение эффективности и переход к максимально конкурентной модели функционирования отрасли. Необходимо, чтобы и традиционные и новые игроки находились в равных условиях и имели возможность конкурировать за удовлетворение спроса. Подобное направление изменений полностью согласуется с текущими изменениями в законодательстве (описанный переход на метод эталонов для сбытовых организаций, операторов сети и генераторов). Главным вектором развития должно стать выстраивание прозрачных, а главное, экономически обоснованных методов регулирования, которые не допускают дискриминацию любого рода, а основным критерием принятия решений является целесообразность и полезность с точки зрения отдельных участников процесса и всей системы в целом.

Глава 3. Рынки в электроэнергетике и модели их развития

3.1. Базовые модели рынков электроэнергии

Описанные ранее тенденции и тренды обуславливают трансформацию розничных рынков электрической энергии большинства стран мира. Краеугольным камнем подобной трансформации является гибкость, обеспечивающая адекватную реакцию рынка на происходящие в нем изменения.

Долгое время электроэнергетические отрасли многих стран были вертикально интегрированы, где все этапы в длинной цепочке генерации и доставки электроэнергии конечным потребителям находились в рамках строгого регулирования со стороны различных государственных органов. Постепенная демократизация мира и развивающийся процесс глобализации привели к внедрению в существующие системы элементов конкуренции в различных формах и изменения характера взаимодействия между экономическими агентами.

Опираясь на анализ опыта трансформации электроэнергетики в различных странах мира, можно утверждать, что на различных этапах развития данной отрасли преобладали следующие три доминирующие модели:

- модель монополии;
- модель единственного покупателя;
- модель конкуренции.

Каждая из моделей имеет собственную рыночную структуру и предполагает различные каналы, по которым взаимодействуют субъекты рынка для осуществления всей цепочки по передаче энергии от генерирующих компаний до конечных потребителей. Далее будет представлена более подробная характеристика данных моделей.

Модель монополии

Обычно данная модель характеризуется наличием вертикально интегрированной системы, под контролем которой находятся такие процессы, как генерация, передача и распределение электроэнергии. То есть существует компания, которая владеет генерирующими мощностями, линиями электропередачи и наделена правом продажи энергии потребителям, и при этом она имеет монопольное право на все виды деятельности. Такая модель существовала во многих странах в XX веке, пока не началось постепенное развитие процесса глобализации.

Стоит сказать, что в данной модели может быть два вариативных случая. В первом все три вида бизнеса в энергетической цепочке, то есть генерация, передача и распределение, контролируются одной крупной компанией (рис. 3.1) [165].

Во втором генерация и передача контролируются одной компанией, а функции по распределению переходят к местным распределительным компаниям, которые по своей сути представляют ту же монополию, только ограниченную более узкими территориальными рамками (рис. 3.2).

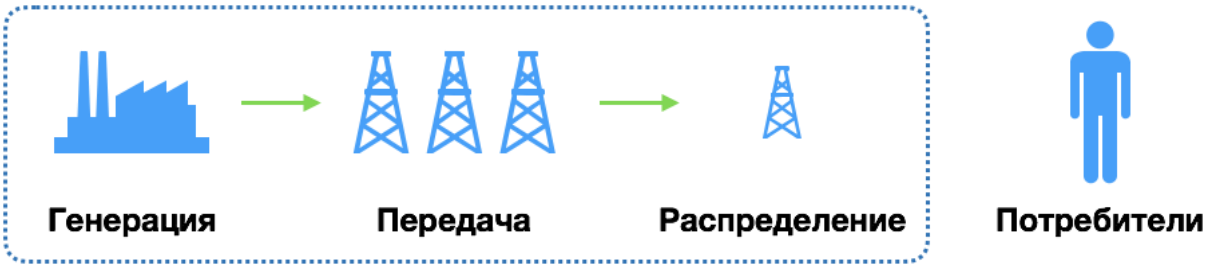

Рис. 3.1. Первый вариант реализации монопольной модели рынка (схематично)

Рис. 3.2. Второй вариант реализации монопольной модели рынка (схематично)

Оба варианта реализации монопольной модели подразумевают наличие жесткого контроля со стороны государства для обеспечения разумных тарифов и доступности электроэнергии конечным потребителям.

Модель единственного покупателя

Данная модель представляет собой усложненную схему функционирования электроэнергетической отрасли. В этапе генерации участвует уже не одна крупная интегрированная компания, а несколько независимых генерирующих компаний, которые конкурируют между собой.

Также появляются и новые производители энергии. Вся электроэнергия поставляется закупочному агентству, которое называют «единственным покупателем». Именно оно реализует электроэнергию распределительным компаниям, которые в данной модели не имеют права выбора поставщика (рис. 3.3).

Важным моментом в этой модели является то, что покупка электроэнергии закупочным агентством осуществляется с использованием долгосрочных контрактов (5–10 лет), в которых заранее определены цены, сроки и условия продажи. Все дополнительные затраты участников данной цепочки покупки–продажи электроэнергии, связанные, например, с увеличением имеющихся мощностей, находят отражение в устанавливаемых тарифах для конечных потребителей.

Модель «единственного покупателя» представляет собой пример несовершенной конкуренции. Так, с одной стороны, данный рынок можно назвать монопсонией, в которой закупочное агентство ввиду своего исключительного положения может оказывать влияние на цену электроэнергии, искусственно занижая равновесный спрос, что приведет к увеличению ее прибыли. Но при этом оно также выступает и монополистом в части продажи энергии распределительным и сбытовым компаниям и может

ограничивать предложение. Нельзя забывать и то, что в таких условиях независимые генерирующие компании могут вступить в сговор для защиты своих интересов [167].

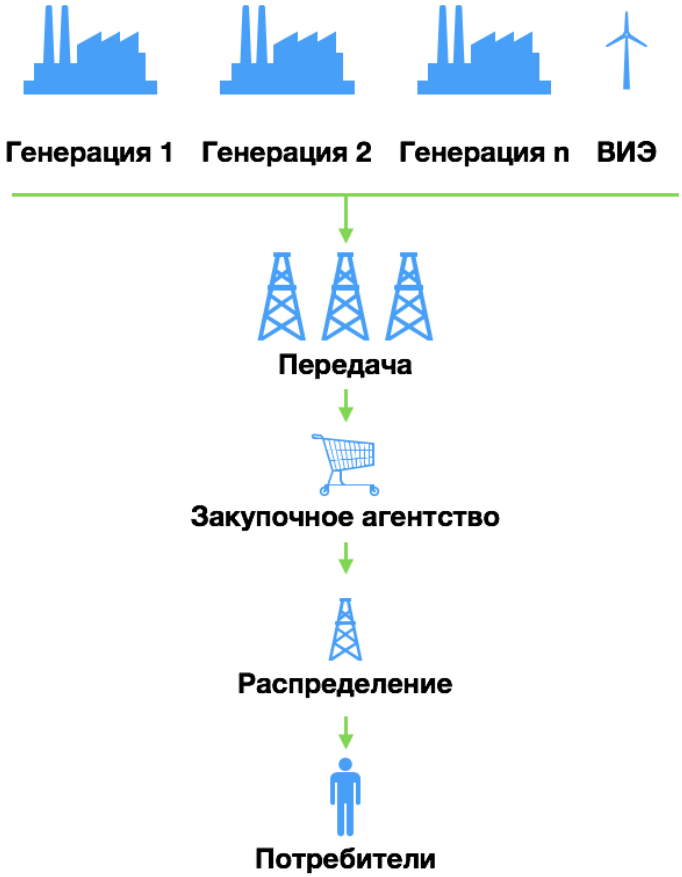

Рис. 3.3. Модель единственного покупателя на РРЭ (схематично) [166]

Во избежание различных отклонений от равновесия на рынке при данном устройстве отрасли особенно важно государственное регулирование. Именно государство должно контролировать выполнение своих обязанностей закупочным агентством по бесперебойному обеспечению электроэнергией потребителей и устанавливать тарифы, необходимые для поддержания баланса в системе.

Таким образом, данная модель представляет собой более интересную схему функционирования электроэнергетического рынка, чем при обычной монополии и успешно реализуется в некоторых странах, но при этом имеет ряд недостатков (табл. 3.1).

Модель конкуренции на розничном рынке

Данная модель подразумевает наличие конкуренции не только на *оптовом* рынке, но и на *розничном*. Помимо РСК появляются сбытовые компании, которые также могут продавать электроэнергию конечному потребителю. При этом данные компании не имеют своих распределительных сетей и имеют право за определенную плату пользоваться сетями РСК, которые сохраняют свое право на их владение и распоряжение ими (рис. 3.4).

Таблица 3.1

Преимущества и недостатки модели РРЭ с единственным покупателем

Преимущества модели	Недостатки модели
Конкуренция между генерирующими компаниями. Усреднение цен благодаря долгосрочным контрактам. Регулируемые тарифы, обеспечивающие необходимые инвестиции в производственные мощности	Формирование тарифов – сложный и затратный процесс. Цена на электроэнергию формируется искусственно. Потребители не имеют права выбора поставщика

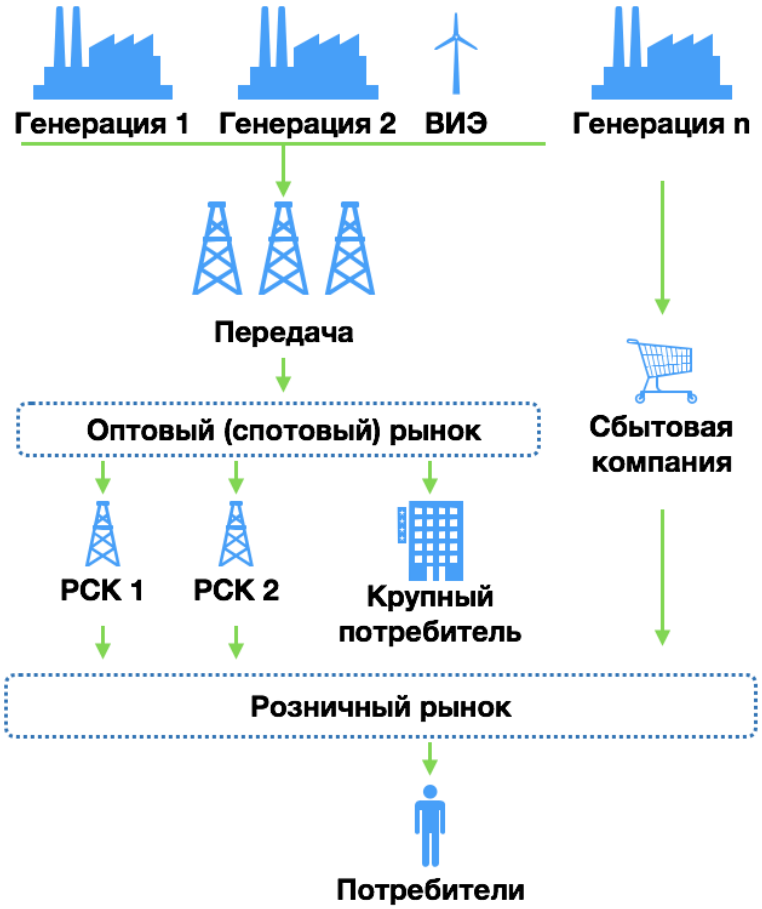

Рис. 3.4. Модель конкурентного розничного рынка (схематично) [168]

Потребители в данной модели наделяются правом выбора. Они могут приобрести электроэнергию у РСК или сбытовой компании, но при этом так же, как и крупные, в модели конкуренции на *оптовом* рынке имеют возможность заключить контракт напрямую с генерирующей компанией, минуя посредников. Такое резкое увеличение числа игроков на рынке ведет к усложнению методов учета потоков энергии и возникновению проблем с их измерениями [168].

Важным моментом остается существование на рынке независимого системного оператора, обязанности которого теперь по поддержанию системы в функционирующем состоянии в разы усложняются.

В модели конкуренции на *розничном* рынке может возникнуть проблема создания новых электростанций. Генерирующие компании в этом случае имеют больше стимулов к сговору и искусственному занижению предложения для стимулирования роста цен. Своими действиями они могут создавать барьер входа для новых производителей энергии. Данное развитие событий может привести к отклонению от конкурентной модели функционирования рынка.

Преимущества и недостатки данной модели можно представить следующим образом (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Преимущества и недостатки модели конкурентного розничного рынка

Преимущества модели	Недостатки модели
Формирование конкурентной цены на электроэнергию благодаря нахождению равновесного состояния между спросом и предложением. Наличие выбора у конечного потребителя. Возможность построения нерегулируемого рынка (действующего на рыночных началах)	Необходимость сложных структурных и правовых изменений на *оптовом* и *розничном* рынках (в случае, если в настоящий момент рынок функционирует в нерыночной модели). Необходимость осуществления комплексной инфраструктурной поддержки системы. Сложность системы учета и измерений перетоков электроэнергии

Таким образом, существующие в настоящий момент модели *розничных* рынков электроэнергии можно схематично описать в представленном выше виде. Главным отличием между описанными моделями является степень конкуренции.

3.2. Анализ моделей розничных рынков электроэнергии за рубежом

Практическая реализация рассмотренных выше моделей *розничных* рынков несколько отличается. В данном контексте стоит рассмотреть опыт ряда таких стран, как США, Китай, Вьетнам, Сингапур, Германия и Великобритания, которые сталкивались с различными изначальными условиями функционирования электроэнергетической отрасли и которые имели различные траектории либерализации розничных рынков электрической энергии.

3.2.1. Опыт США

Трансформация розничного рынка электроэнергии

Развитие розничного рынка США представляет собой движение от монополии к конкурентному рынку (рис. 3.5).

На первом этапе (в период после великой депрессии – к 1932 г.) около 73 % энергетического рынка принадлежало 8 крупнейшим компаниям (холдингам). Государство опасалось нерыночного поведения и приняло решение о необходимости вмешательства.

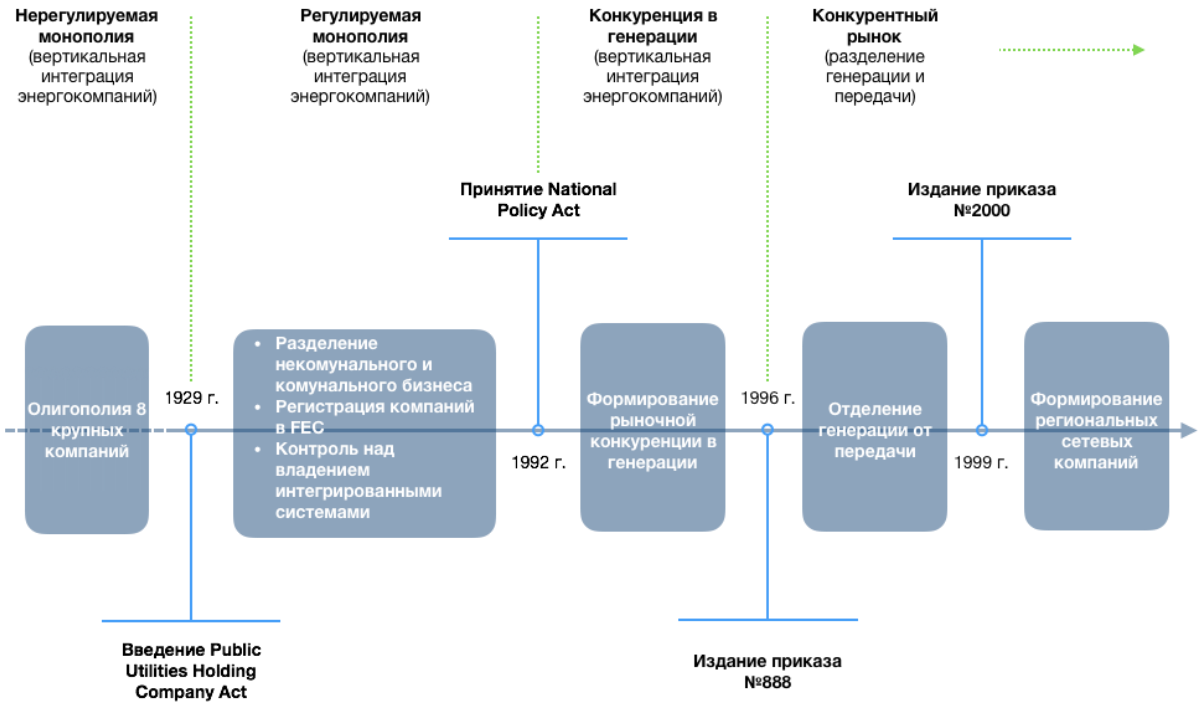

Рис. 3.5. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии в США [169]

За этим последовало введение «Public Utilities Holding Company Act» (PUHA) – законодательного акта, направленного на регулирование деятельности электроэнергетических олигополий и предотвращение нерыночного поведения с их стороны.

В процессе прохождения через конгресс в PUHA был внесен ряд правил, касающихся продажи электроэнергии:

– комиссия по ценным бумагам и финансовому рынку наделялась функциями по одобрению решений холдинговых компаний об участии в некоммунальном бизнесе;

– некоммунальный бизнес должен был вестись отдельно от регулируемого;

– все холдинговые компании подлежали регистрации в комиссии по ценным бумагам и финансовому рынку;

– комиссия затем контролировала долю владения такими компаниями интегрированных систем.

К 1948 г. холдинговые компании отделили около 12 млрд долл. активов, а общее количество дочерних предприятий, контролируемых данными компаниями, сократилось с 1983 до 303. Кроме того, данный акт защищал потребителя от того, что поставщики могли завышать тарифы, которые рассчитывались по методике «затраты плюс».

В 1992 г. был принят «National Energy Policy Act», который послужил основой для формирования розничного рынка электроэнергии. Акт был нацелен на формирование рыночной конкуренции среди генерации.

Дальнейшему развитию конкуренции способствовал принятие в 1996 г. приказа № 888, нацеленного на обеспечение «открытости и недискриминационности услуг по передаче». Данным актом передача была отделена от генерации, что привело к разрушению ряда вертикально-интегрированных компаний.

В 1999 г. изданием приказа № 2000 были сформированы региональные передающие компании, которые заменили прямой государственный контроль.

Таким образом, к 2012 г. около 20 штатов стали дерегулированными. Тем не менее, подобное дерегулирование неполное – полностью дерегулированных рынков электроэнергии в США нет [170].

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

Особенностью США является то, что их электроэнергетический рынок тесно связан с рынком газа. Кроме того, существенная часть штатов до сих пор применяют политику существенного вмешательства (рис. 3.6).

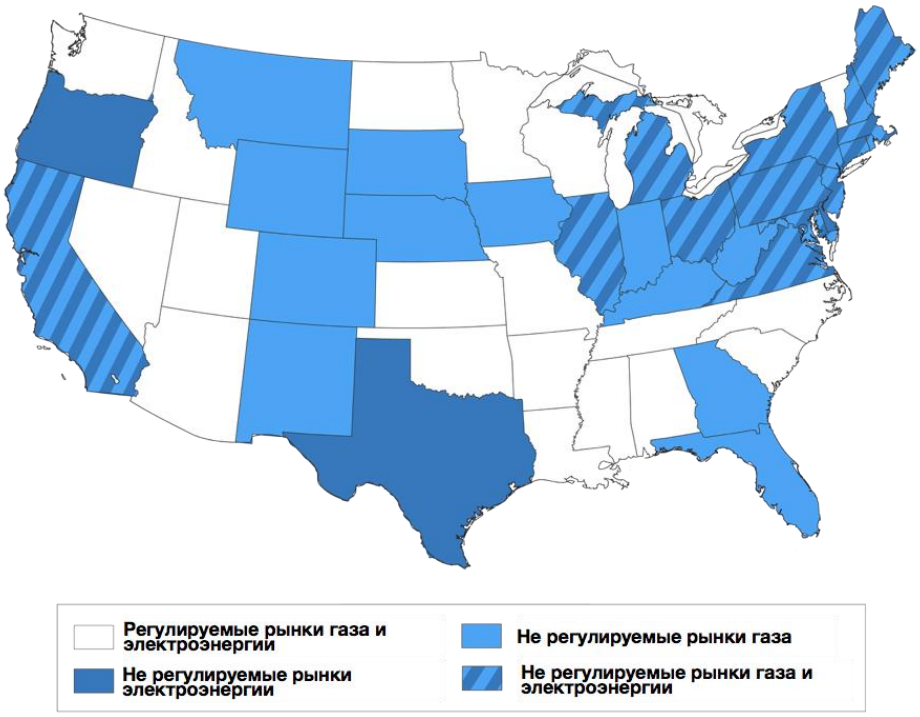

Рис. 3.6. Текущее состояние уровня регулирования рынков газа и электрической энергии в США (рисунок заимствован из [170])

Энергетические компании США регулируются как со стороны штата, так и на федеральном уровне (табл. 3.3).

В табл. 3.3 упоминается 2 типа штатов – регулируемые и дерегулированные [171]:

– в *регулируемых* штатах энергетические компании являются вертикально интегрированными, а тариф на передачу и сбытовая надбавка определяются по экономическим принципам комиссиями штатов;

– в *дерегулированных* штатах генерация функционирует на рыночных началах, а сбытовая надбавка определяется рынком. Тариф на передачу полностью регулируется, как и сетевой тариф.

Таблица 3.3

Описание регуляторов электроэнергетических рынков США

Регулятор	Область компетенции	Функции
FERC (Федеральная комиссия по регулированию энергетики)	Розничный рынок электроэнергии и передача между штатами	Формирование структуры рынка. Планирование сетей передачи и распределение затрат. Обеспечение общей надежности системы
Комиссии штатов	Местный (на уровне штата) рынок – в особенности сбыт и распределение	Расчет сетевого тарифа. Определение сбытовой надбавки (для интегрированных штатов)/правил выбора поставщика (для дерегулированных штатов). Планирование инвестиций. Размещение генерации и передачи. Надежность распределительных сетей

* *[34, 171]*

Таким образом, применяемые в настоящее время в США модели розничных рынков можно разделить на 2 категории: традиционная (вертикально-интегрированная) и выбор в рознице. 2-сторонний рынок в данном случае можно считать вариантом вертикальной интеграции (табл. 3.4).

В *монопольной* модели потребителям доступен фиксированный пакет услуг – что означает, что производство, передача и распределение, а также сбыт осуществляется одной компанией. У потребителей отсутствует возможность выбрать другого поставщика, а тарифы энергетических компаний регулируются государством (рис. 3.7).

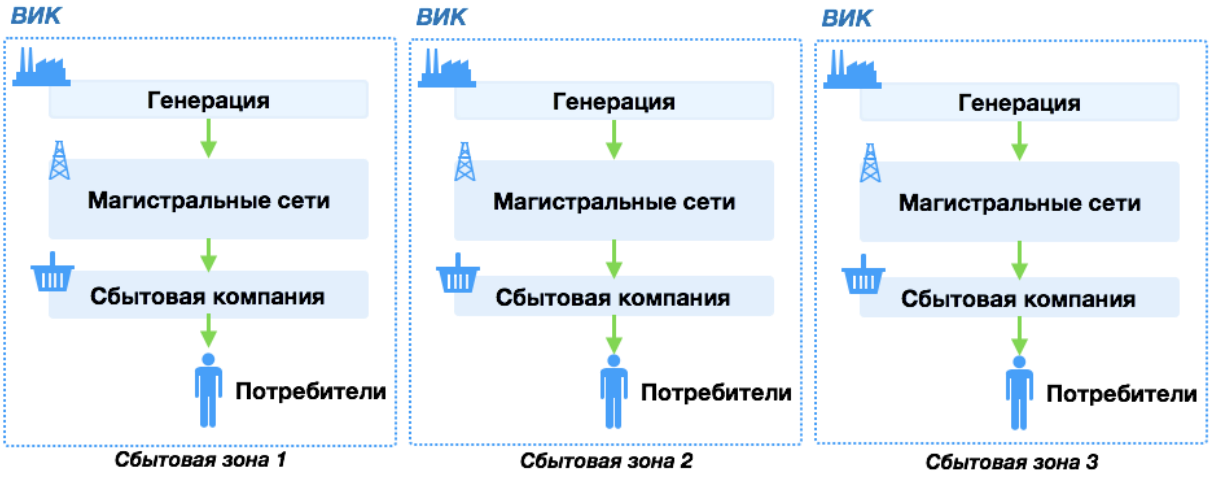

Рис. 3.7. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии

Таблица 3.4

Применяемые в настоящее время в США модели розничных рынков электроэнергии

	Централизованный розничный рынок		**Рынок 2-сторонних договоров (ВИК = ГП) (3)**
	ВИК (1)	***Выбор в рознице (2)***	
Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Регулируется законодательно (по методу «затраты плюс»)	Тариф на генерацию устанавливается через рынок, а тариф на передачу регулируется	Оговаривается в контракте со сбытовой компанией – либо стандартный набор услуг, либо кастомизированное предложение
Уровень концентрации в генерации	5 крупнейших генераторов занимают 22 % рынка		
Количество сбытовых компаний	5 крупнейших сбытовых компаний занимают 56 % рынка		
Уровень интеграции переделов	ВИК	Генерация Передача Распределение + сбыт	ВИК
Потребительский выбор сбытовой компании	Нет	Да	Нет
Модель	***Монополия***	***Конкуренция***	***Монополия***
Используется штатами	*Арканзас*, Калифорния, Айова*, Индиана, Канзас, Кентукки*, Луизиана*, Миннесота, Миссури, Монтана*, Северная Дакота*, Небраска*, Нью-Мексико*, Оклахома, Южная Дакота*, Вирджиния, Вермонт, Висконсин, Западная Вирджиния*	*Коннектикут, Делавэр, Иллинойс, Массачусетс, Мэриленд, Мэн, Мичиган, Нью-Гемпшир, Нью-Джерси, Нью-Йорк, Огайо, Орегон, Пенсильвания, Род-Айленд, Техас*	*Аляска, Алабама, Аризона, Колорадо, Флорида, Джорджия, Гавайи, Айдахо, Миссисипи, Северная Каролина, Невада, Южная Каролина, Теннесси, Юта, Вашингтон, Вайоминг*

** данные штаты используют гибридную модель*
*** [173, 174]*

В табл. 3.4 указаны 2 варианта реализации монопольной модели. Различия с точки зрения структуры отсутствуют, а главное их отличие заключается в формировании стоимости (в первом случае они законодательно регулируются, а в третьем – формируются путем заключения долгосрочных контрактов на поставку).

В *монопольной* модели ценообразование вертикально-интегрированных компаний осуществляется по принципу «затраты плюс», что критикуется многими экспертами, которые заявляют, что подобная система может приводить к излишним инвестициям в капиталоемкие проекты и не создает должных стимулов для повышения эффективности.

В *конкурентной* модели, напротив, потребители имеют возможность выбора поставщика. Независимые поставщики могут устанавливать собственные тарифы, но сетевые тарифы по-прежнему законодательно регулируются (рис. 3.8).

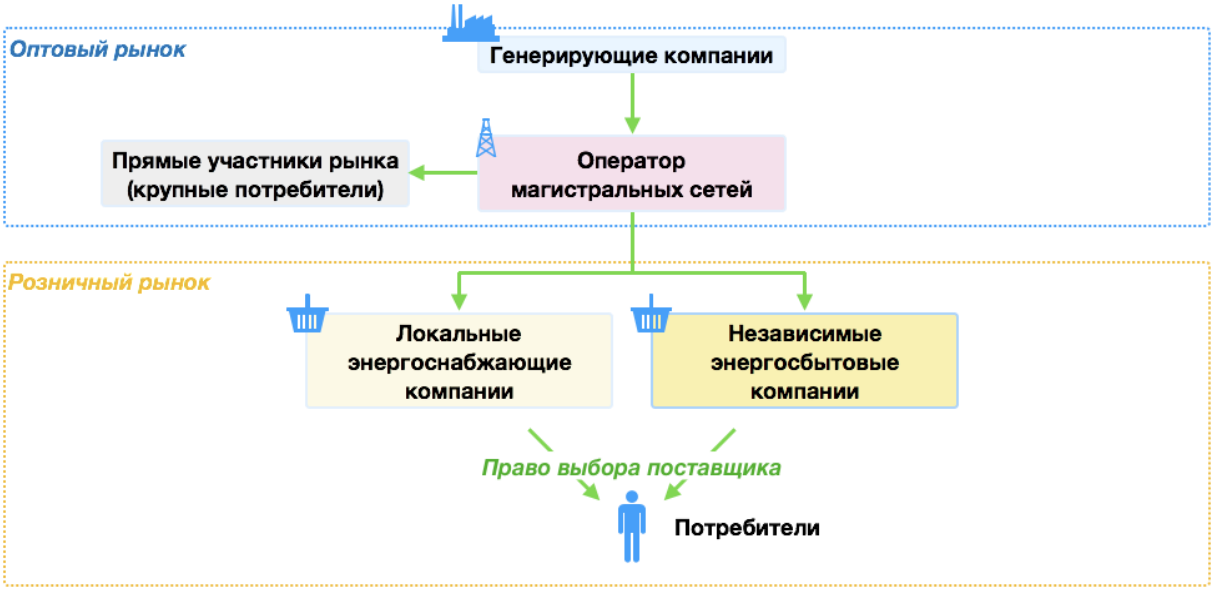

Рис. 3.8. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии США (модель выбора в рознице)

Конкурентная модель была введена в 1990 гг. в качестве реакции на высокие регулируемые цены (по сравнению с относительным уровнем затрат) в отдельных регионах США. Многие потребительские группы находят данную модель привлекательной, поскольку цены на конкурентном рынке часто оказываются гораздо ниже регулируемых. В данной модели генерацией может заниматься либо конкурентный игрок, либо ГП. У данного подхода есть критика, связанная с тем, что конкурентные игроки не рассматривают население как привлекательный сегмент (из-за его малого размера), а также не всегда готовы участвовать в конкуренции из-за низкой маржи деятельности [174].

3.2.2. Опыт Китая

Трансформация розничного рынка электроэнергии

До 1980 г. энергетическая отрасль Китая была полностью подконтрольна государственным структурам. Решения относительно развития

рынка с центрального уровня благодаря сформированному бюрократическому аппарату передавались на региональный, откуда уже доходили до властей провинций и органов на местах.

В середине 1990 гг. стала очевидной необходимость коренных преобразований в энергетической отрасли страны, которые бы позволили существовать в новых экономических условиях, порождаемых процессом либерализации по всему миру. Основными целями изменений были создание стимулов для развития конкурентной среды, повышение эффективности электроэнергетического комплекса, оптимальное распределение ресурсов, что было немаловажным, так как сетевая инфраструктура была неравномерно распределена по отдельным провинциям, из-за чего спрос на электроэнергию многих регионов удовлетворялся только частично. Также правительство страны собиралось усовершенствовать механизмы ценообразования и сократить общеотраслевые издержи. На фоне растущего уровня потребления электроэнергии важным было увеличение качества и количества энергоснабжения страны. Таким образом, основными процессами должны были стать децентрализация и дерегулирование (рис. 3.9). [175, 176, 177, 178].

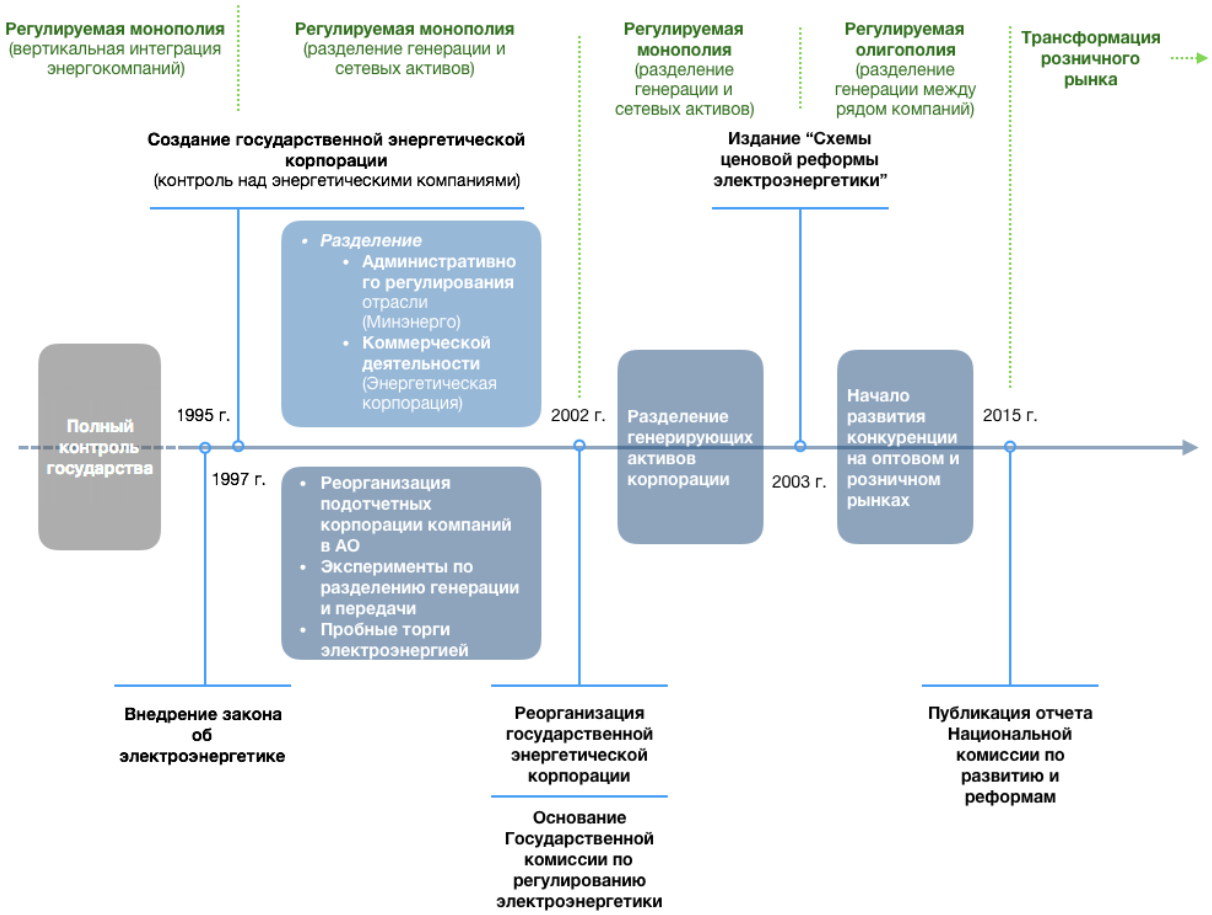

Рис. 3.9. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии в Китае

Как видно из приведенного рисунка, трансформация проходила в направлении от регулируемой со стороны государства вертикально-интегрированной монополии к формированию конкурентного рынка (процесс на данный момент еще не завершен).

Главными вехами развития стали:

– создание в 1997 г. Государственной энергетической корпорации, что позволило разделить административное регулирование отрасли и коммерческую деятельность, а также реорганизовать подотчетные компании в акционерные общества;

– реорганизация данной корпорации в 2002 г., принесшая с собой разделение генерирующих активов между 5 корпорациями и издание схемы ценовой реформы электроэнергетики в 2003 г., что послужило началом формирования конкуренции на оптовом и розничном рынках.

В 2015 г. начался новый этап развития электроэнергетики Китая, нацеленный на выстраивание новой (конкурентной) модели как оптового, так и розничного рынка (подробнее – см. ниже).

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

Розничный сектор китайского электроэнергетического рынка в настоящее время не является конкурентным (более 80 % объемов поставок электрической энергии осуществляются государственными предприятиями [179], а потребителям недоступны иные способы покупки электроэнергии, за исключением ее приобретения у районных распределительных компаний) – то есть реализуется модель *единственного покупателя* (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Модель розничного рынка электроэнергии Китая

Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Долгосрочный (20 лет) контракт для сбытовой компании
Уровень концентрации в генерации	5 крупнейших генераторов занимают 100 % рынка
Количество сбытовых компаний	5 аффилированных с генераторами + 300 местных (функционируют номинально)
Уровень интеграции переделов	Генерация Передача + Распределение + Сбыт
Потребительский выбор сбытовой компании	Нет
Модель	***Единственный покупатель***

** [180, 181, 182]*

Тем не менее, в генерации была реализована квазиконкурентная модель, подразумевающая разделение рынка между 5 крупными генераторами (рис. 3.10).

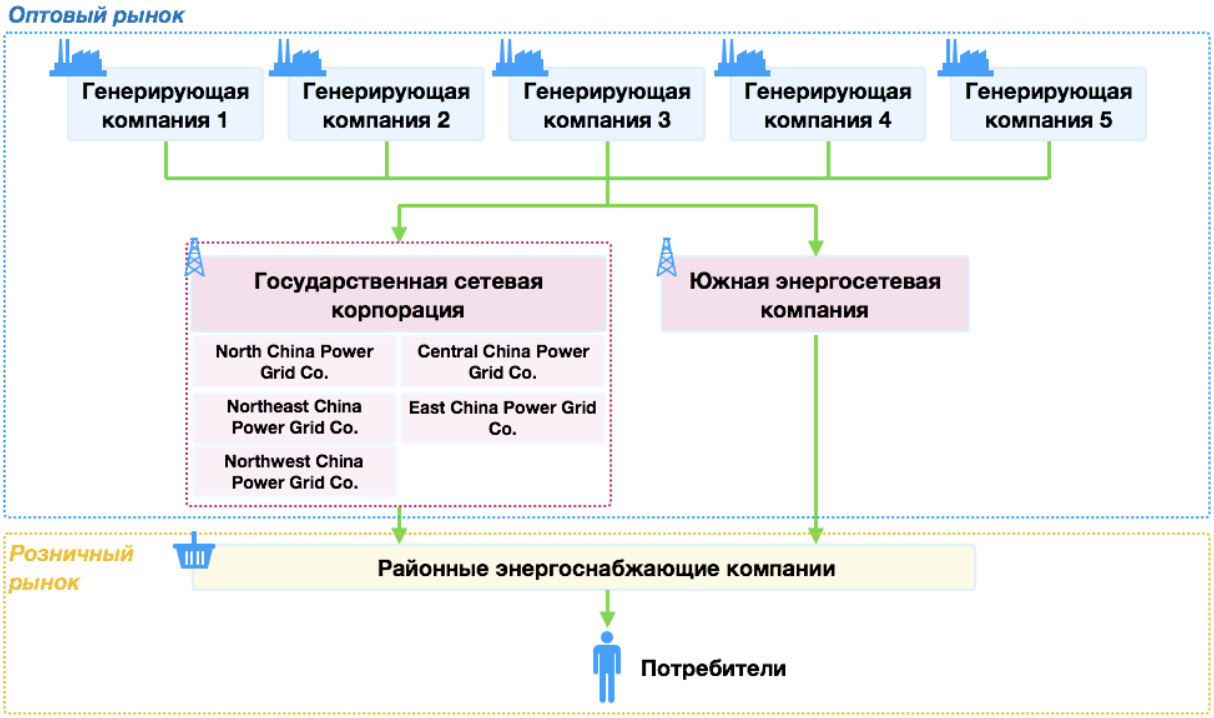

Рис. 3.10. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии Китая

Таблица 3.6

Этапы трансформации розничного рынка электроэнергии в Китае

	1 этап Прямые закупки электроэнергии крупными потребителями	**2 этап** Розничный рынок	**3 этап** Интернет энергии
Характеристики рынка	Прямые покупки электроэнергии крупными потребителями	Формирование структуры *розничного* рынка	Реформа энергетики для развития «интернета энергии»
Потребители	Крупные коммерческие и промышленные потребители, соответствующие требованиям доступа	Прочие пользователи рынка	Пользователи различной энергетической формы
Ключевые продавцы	Дочерние предприятия группы генерирующих компаний	Независимые энергосбытовые компании	Несколько энерго-интегрирующих компаний
Сервисы по продаже электроэнергии	Долгосрочные контракты на поставку электроэнергии	Кастомизированные/ персонализированные сервисы и диверсифицированные пакеты услуг	Интегрированные энергетические решения

* *[184]*

Тем не менее, в настоящее время происходит существенная трансформация данного рынка. Так, в 2015 г. Национальным советом по развитию и реформам был опубликован документ [183], содержащий предложения по этапам реформирования *розничного* сектора электроэнергетического рынка. В результате планируется перейти от рынка прямых покупок к полноценному *розничному* рынку и в итоге к реализации концепции «интернет энергии» (в пилотной форме) (табл. 3.6) [184].

Таким образом, можно видеть, что электроэнергетическая отрасль Китая в настоящее время является подконтрольной государству и строго регулируемой. Процессы передачи и распределения энергии не были разделены и контролируются одними и теми же компаниями. Это приводит к отсутствию какой-либо конкуренции на *розничном* рынке. Потребители не имеют широкого объема прав и не могут выбирать распределительную компанию. Но при этом стоит отметить, что высокие темпы развития страны и рост спроса на электроэнергию побуждают власти инициировать процесс реформирования, который уже находит свое отражение как в дифференциации тарифов на *розничном* рынке, так и в увеличении конкуренции в различных секторах энергетической отрасли.

3.2.3. Опыт Вьетнама

Трансформация розничного рынка электроэнергии

Трансформация рынка электроэнергии Вьетнама представляет собой переход от полного государственного контроля к модели единственного покупателя (данная модель функционирует в настоящее время) и конкурентному рынку впоследствии (рис. 3.11).

Так, до 1995 г. рынок отсутствовал как таковой – на нем функционировали контролируемые государством 3 региональные ВИК. Затем, в 1995 г. с целью повышения надежности всей энергосистемы было принято решение об объединении всех 3 компаний в единую монополию – EVN (Electricity of Viet Nam), которая объединила в себе процессы генерации электрической энергии и управления энергосистемой (рис. 3.12).

Однако подобная модель доказала свою несостоятельность (компания осуществляла поставки по тарифам ниже себестоимости). А поскольку в этот период на рынок начали входить независимые производители электрической энергии, было принято решение о начале крупной реформы энергетической отрасли.

Данная реформа была осуществлена в 2 этапа:

1. Формирование модели единственного покупателя (с 2004 по 2006 гг.). На данном этапе также произошло изменение системы формирования тарифов с целью достижения их унификации в рамках регионов (это должно способствовать привлечению иностранных инвестиций благодаря повышению степени стабильности в регионе), а также снизилось государственное субсидирование.

2. Постепенный переход к розничному рынку:

– к 2012 г. – в генерации;

– к 2017 г. – в оптовом рынке;

– к 2023 г. – в розничном рынке.

Более подробное описание процесса трансформации приведено в прил В.

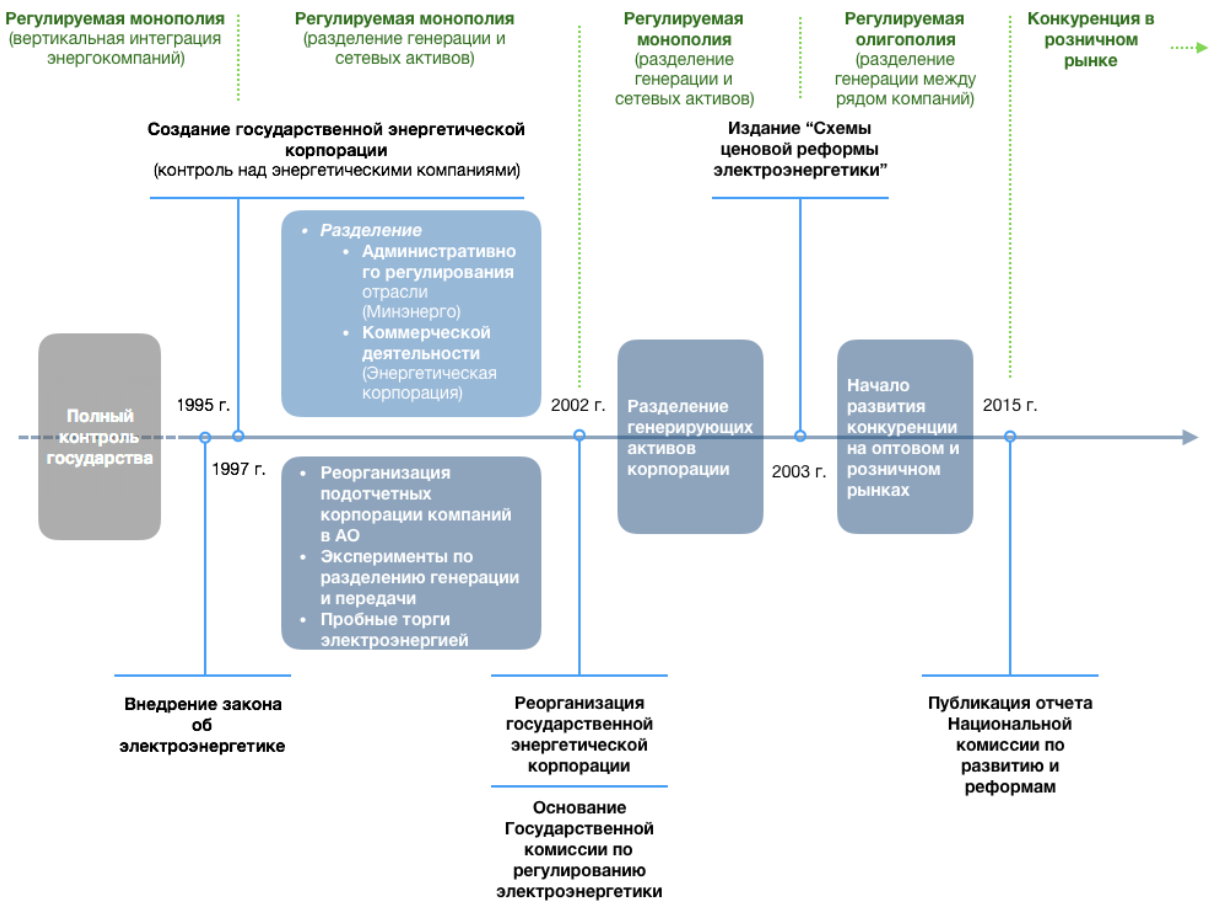

Рис. 3.11. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии во Вьетнаме [185, 186, 187]

Рис. 3.12. Место EVN в электроэнергетике Вьетнама [185]

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

Розничный рынок в текущей своей форме представляет модель *единственного покупателя*: его основу составляют пять энергетических корпораций [188] (Northern Power Corporation, Central Power Corporation, Southern Power Corporation, Hanoi City Power Corporation и Ho Chi Minh City Power Corporation), каждая из этих компаний владеет сетевыми активами на определенной территории и осуществляет распределение электроэнергии потребителям, которую ей передает Национальная энергетическая корпорация (рис. 3.13).

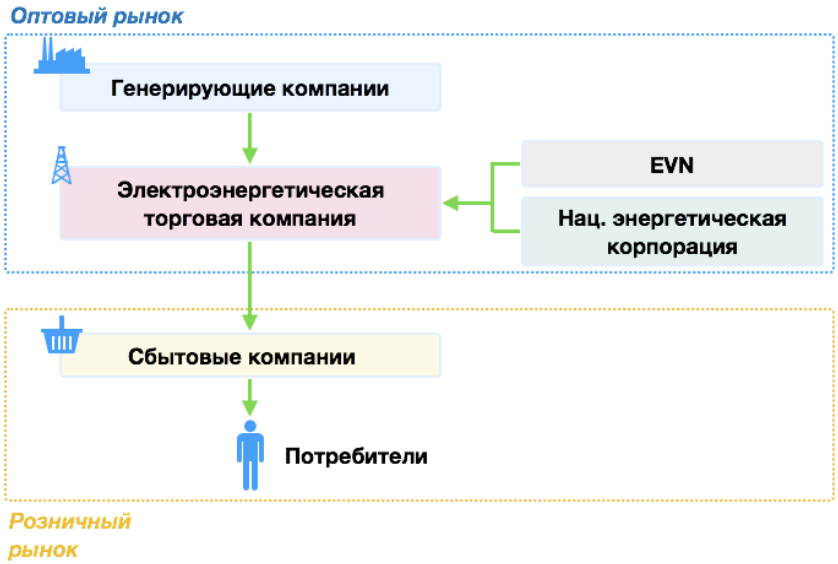

Рис. 3.13. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии Вьетнама

Такое регулирование приводит к тому, что потребители не имеют права выбора поставщика услуги и вынуждены пользоваться услугами только определенной компании (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Модель розничного рынка электроэнергии Вьетнама

Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Государственное регулирование
Уровень концентрации в генерации	5 крупнейших генераторов занимают 77 % рынка
Количество сбытовых компаний	5 сбытовых компаний занимают 100 % рынка
Уровень интеграции переделов	Генерация Передача Распределение + Сбыт
Потребительский выбор сбытовой компании	Нет
Модель	***Единственный покупатель***

* *[186, 187, 188]*

Таким образом, электроэнергетический рынок Вьетнама находится в процессе изменений и движения к полностью конкурентному. На данный момент начинает развиваться конкуренция в области генерации, что должно в итоге привести к построению модели конкуренции на *оптовом* рынке.

Существующая модель единственного покупателя ведет к полному регулированию рынка государством, а также усиления монопольного влияния компании EVN. Вследствие этого *розничный* рынок электроэнергии зарегулирован и находится под контролем пяти распределительных компаний, которые также входят в структуру активов EVN (объединенная монопольная компания EVN (Electricity of Viet Nam)). Потребители не имеют права выбора поставщика энергии и возможности его поменять.

Тем не менее, зарождающийся курс на либерализацию отрасли уже показывает положительные результаты и в итоге должен привести к качественным улучшениям.

3.2.4. Опыт Сингапура

Трансформация розничного рынка электроэнергии

Построение конкурентной модели функционирования электроэнергетического рынка Сингапура происходило в достаточно сжатые сроки, вызванные масштабным притоком иностранных инвестиций, требовавших соответствующей инфраструктуры (рис. 3.14).

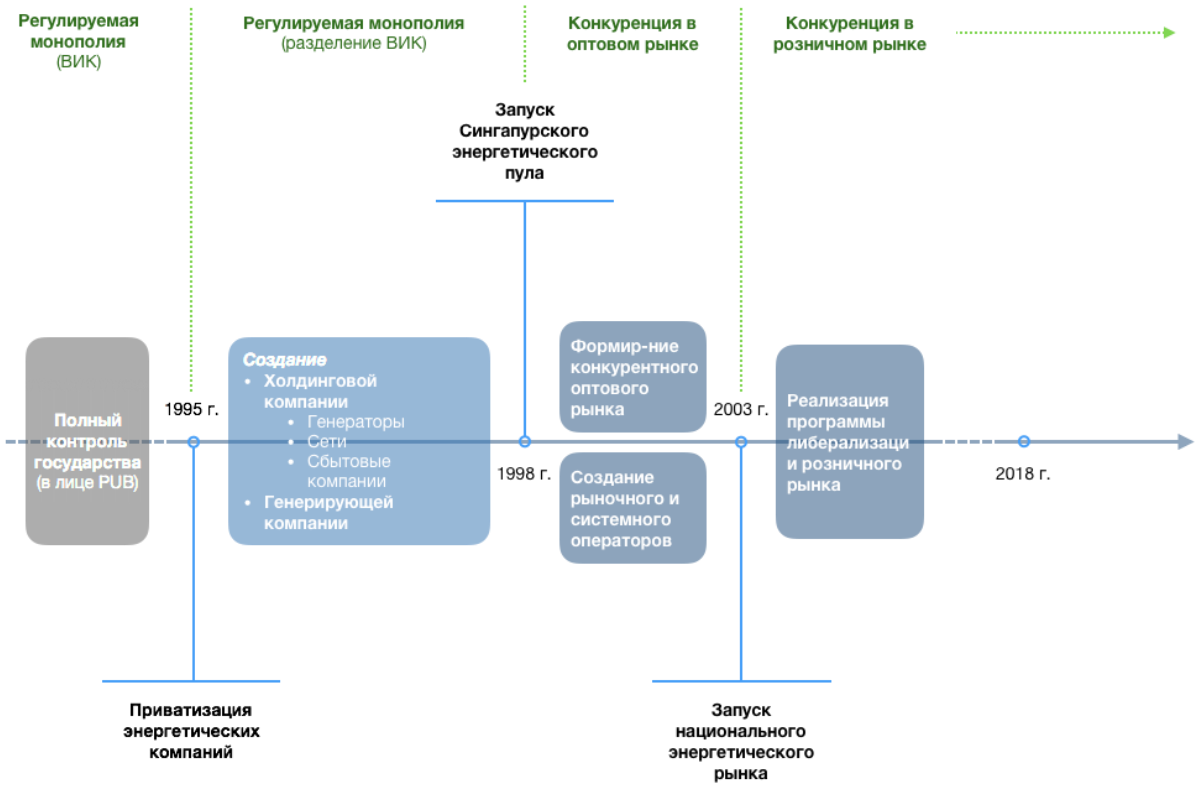

Рис. 3.14. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии в Сингапуре [189, 190, 191]

До реформы 1995 г. электроэнергетический рынок Сингапура являл собой регулируемую монополию, представленную ВИК, которая контролировалась Комитетом по коммунальным услугам. Но к началу 1990 гг. регуляторы осознали необходимость формирования рыночных институтов, в связи с чем была произведена приватизация энергетических компаний, контролируемых Комитетом.

Инвестиции осуществляла крупнейшая государственная инвестиционная компания – Temasek Holdings, в рамках которой была создана холдинговая компания Singapore Power (в ее состав вошли: Генерирующие компании – PowerSenoko (в настоящее время – Senoko Energy) и PowerSeraya; Сетевая электроэнергетическая компания – PowerGrid (в настоящее время – SP PowerAssets); Компания, ответственная за электроснабжение населения и обеспечение их коммунальными услугами, – Power Supply (в настоящее время – SP Services)) и генерирующая компания Tuas Power (в настоящее время – Tuas Power Generation) [189].

Затем, в 1998 г. был запущен Сингапурский энергетический пул, целью которого было формирование конкурентного оптового рынка. Функционирование энергетического пула сделало возможным продажу компанией Power Supply электроэнергии генерирующими компаниями в конкурентных условиях и стало началом формирования *оптового* рынка с высоким уровнем конкуренции. Компании, действующие на энергетическом рынке в этот период, практически все были государственными. В рамках данного этапа реформ также были созданы рыночный и системный операторы.

На следующем этапе (с 2003 г.) был запущен Национальный рынок электроэнергии Сингапура (NEMS), а программа по либерализации розничного рынка энергии вступила в активную фазу.

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

На *розничном* рынке реализована частичная модель *конкуренции*, когда только ряд конечных потребителей имеет право выбора продавца электроэнергии (рис. 3.15, табл. 3.8).

На *розничном* рынке вскоре также будет реализована подобная модель.

Но даже уже в текущих условиях крупные предприятия имеют право выбора поставщика электроэнергии, что делает ведение бизнеса более гибким и способствует развитию экономики. Растущее потребление электроэнергии и открытость властей к изменениям и более эффективным решениям позволяют говорить о том, что в данном случае модель розничной конкуренции не только может быть реализована в полной мере, но и сделано это будет в кратчайшие сроки.

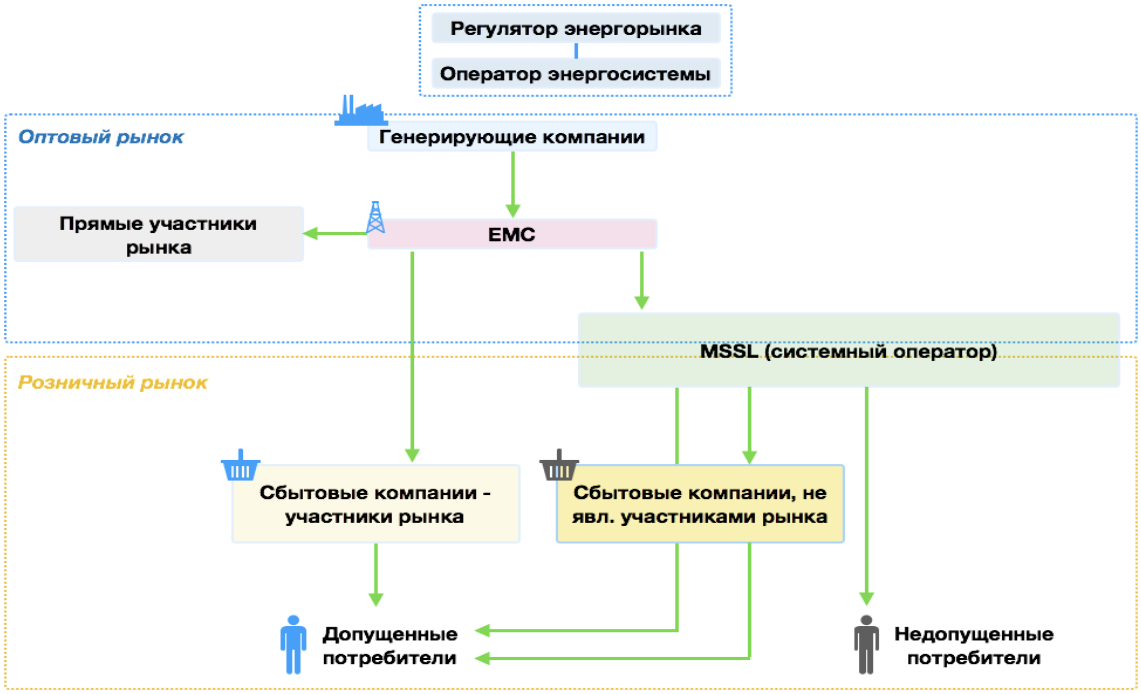

Рис. 3.16. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии Сингапура

Таблица 3.8

Модель розничного рынка электроэнергии Сингапура

	Когда сбытовые компании являются участниками рынка	**Когда сбытовые компании не являются участниками рынка**
	1	***2***
Основные игроки	Генераторы. Сетевая компания (SP Power Assets). Сбытовые компании (покупают у генераторов)	Генераторы. Системный оператор (MSSL). Сетевая компания (SP Power Assets). Сбытовые компании (покупают у MSSL)
Формирование цены	Конкурентное (ценовые заявки)	Государственное регулирование
Рыночный механизм	Контракты с фиксированной ценой. Контракты, цена которых индексируется в зависимости от цены топлива. Контракты, цена которых зависит от пиковой нагрузки периода, в которой осуществляется сделка. Привязанные к тарифу контракты	Формирование тарифа со стороны SP
Конкуренция	В генерации. В сбыте	

Окончание табл. 3.8

	1	*2*
Уровень интеграции	Отсутствует: все виды деятельности разделены	
Потребительский выбор	Да (для допущенных*): − через сбытовую компанию; − напрямую на оптовом рынке (для этого необходима регистрация у регулятора); − через SP	Нет
Модель	***Конкуренция***	***Единственный покупатель***

** допущенными являются «предприятия, которые имеют среднемесячное потребление не менее 2000 кВт·ч (или ежемесячный счет на электроэнергию, составляющий не менее 400 долл.), могут отказаться от стандартной схемы распределения энергии и получить право выбора продавца»*

*** [189, 190, 191, 192, 193]*

3.2.5. Опыт Германии

Трансформация розничного рынка электроэнергии

Рынок электроэнергетики Германии до начала реформирования не был похож по структуре на большинство других европейских стран в вопросе преобладающей формы собственности – государственная монополия на основные виды деятельности отсутствовала как таковая. На рынке функционировали компании с различным участием – частным, государственным и смешанным; преобладали вертикально-интегрированные структуры (рис. 3.16).

В силу особенностей рынка конкурентная модель на розничном рынке была введена еще в 1998 г. С этого момента у потребителей появилось право выбора поставщика. Однако данная модель по факту не была реализована в силу отсутствия необходимых рыночных и законодательных механизмов. Поэтому де-факто на рынке сформировалась монополия.

Дальнейшее развитие представляло собой параллельную либерализацию всех элементов цепочки: генерацию, передачу и распределение, сбыт. Поэтому уже в 2005 г. по факту был сформирован конкурентный рынок. Однако доминирование ВИК сохранялось (они были наследием этапа консолидации). Поэтому в 2011 г. Национальный закон об электроэнергетике был пересмотрен: были внедрены независимый системный оператор и независимый оператор передачи. Существование операторов на рынке и введение различных политик имели своей целью снижение власти вертикально-интегрированных компаний и предотвращение возможной дискриминации других участников с их стороны при доступе к сетевым активам и/или инвестициям в электроэнергетику.

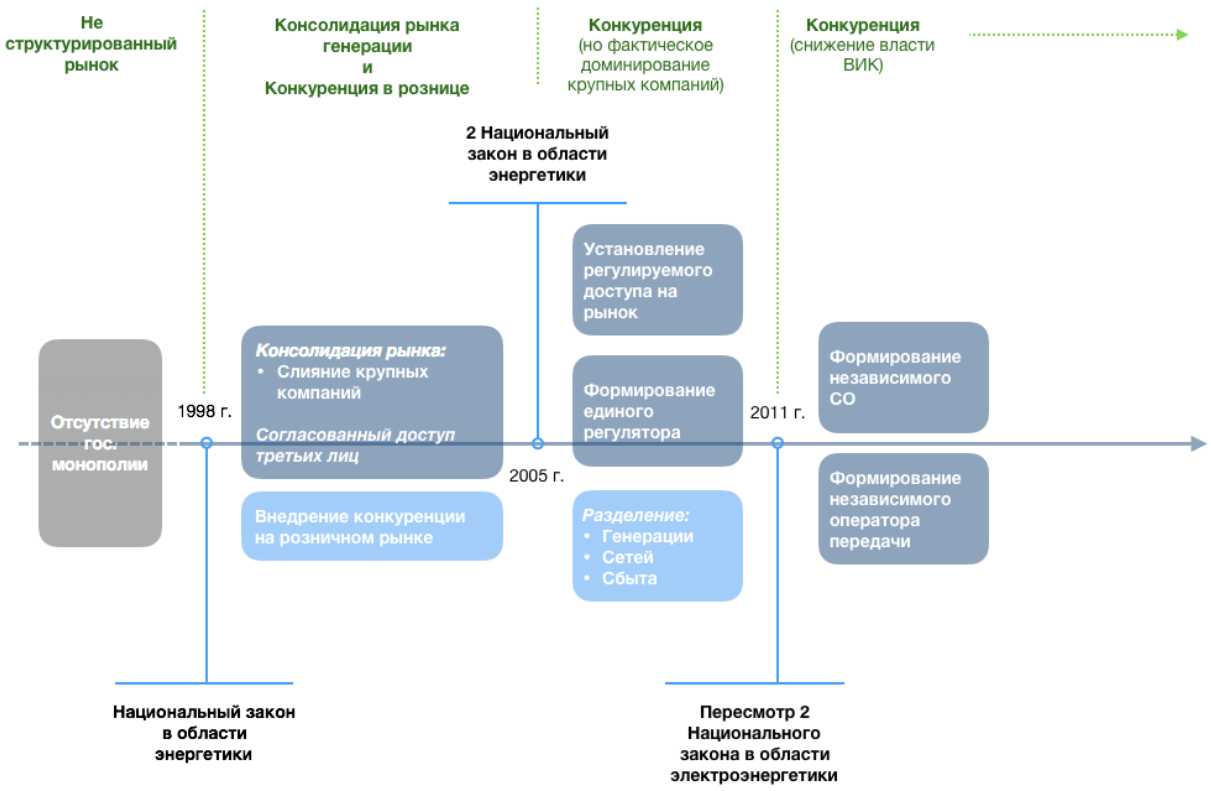

Рис. 3.16. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии в Германии [194, 195, 196, 197]

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

Несмотря на то, что законодательно установлен свободный вход на рынок, на нем доминируют четыре крупные компании, которые владеют основной частью генерирующих, распределительных и сбытовых активов: E.ON; EnBW; RWE и Vattenfall Europe [195].

Конкуренция на немецком *розничном* рынке электроэнергии была введена еще в 1998 г. С этого момента потребители получили право выбора поставщика. Однако процент потребителей, воспользовавшихся такой возможностью, вначале был очень мал. Это было связано с отсутствием налаженной на тот момент системы перехода и необходимых форм контрактов. Постепенно ситуация улучшалась и степень конкуренции среди поставщиков выросла. Так, к 2012 г. около 20 % домохозяйств имели контракты с конкурентными поставщиками, а не с теми, кто по умолчанию оказывает услуги на данной территории.

В настоящее время модель розничного рынка представляет собой конкуренцию (табл. 3.9), а структура – относительно неконцентрированное владение (табл. 3.10).

В целом можно говорить о довольно гибкой структуре *розничного* рынка Германии. Он полностью либерализован. На нем имеется достаточное количество игроков для обеспечения конкурентных условий. Также конечные потребители любой группы имеют право выбора поставщика электроэнергии (рис. 3.17).

Таблица 3.9

Модель розничного рынка электроэнергии Германии

Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Биржа ценовых заявок
Уровень концентрации в генерации	4 крупнейших генератора занимают 70 % рынка
Количество сбытовых компаний	Около 900
Уровень интеграции переделов	Генерация + Распределение + Сбыт Передача
Потребительский выбор сбытовой компании	Да
Модель	***Конкуренция***

** [196]*

Таблица 3.10

Структура рынка электроэнергии Германии

Сегмент	Ключевые компании	Рыночная доля	Общее количество провайдеров
Генерация	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	56 % установленной мощности (на июнь 2014 г.) 59 % общего объема генерации (на 2012 г.)	В общем более 1 тыс. генераторов (не включая индивидуальных производителей)
Передача	Ampirion; Transnet BW (ENBW); TenneT; 50 Hertz Transmission	В общем – 100 %	4
Распределение	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	4 крупные компании владеют и управляют существенной частью распределительной системы (точных данных о рыночной доле нет)	Около 890 операторов распределительной системы (около 700 из них находятся в муниципальной собственности Stadwerke)
Сбыт	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	Около 45,5% общего объема выбранной электроэнергии	Более 900 сбытовых компаний

** [196]*

Тем не менее, сложившаяся в Германии модель отличается от традиционной конкуренции тем, что в данном случае объединены генерация, распределение и сбыт (через дочерние компании генераторов), а передачей занимаются независимые операторы.

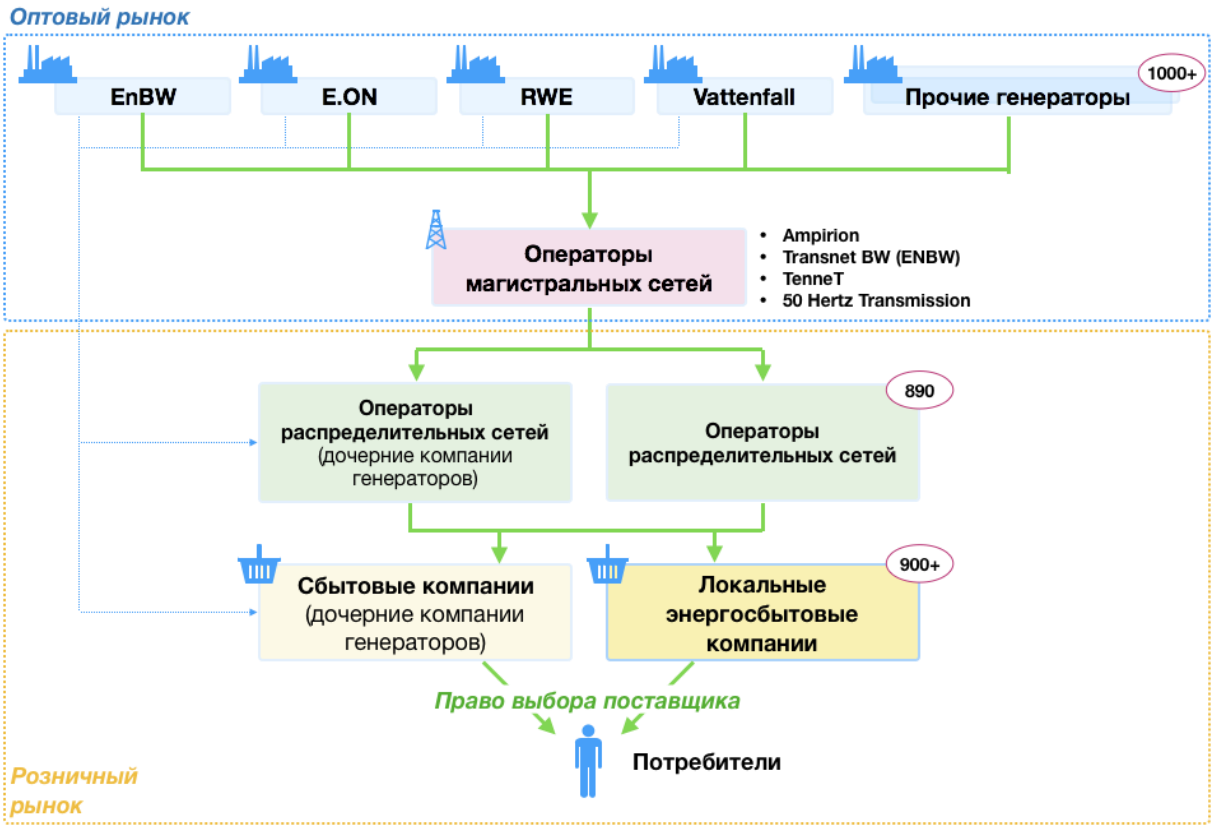

Рис. 3.17. Схема оптового и розничного рынков электроэнергии Германии

3.2.6. Опыт Великобритании

Особенностью *розничного* рынка электроэнергии Великобритании является тот факт, что он обычно рассматривается в совокупности с газовым. Так, обычно эти 2 продукта поставляются одной сбытовой компанией по тарифу «двойного топлива» («dual fuel»). Регуляторный режим также обычно одинаков для этих 2 сегментов.

Трансформация розничного рынка электроэнергии

Историю развития розничного рынка электроэнергии Великобритании можно представить в виде движения от ценового регулирования к конкуренции (рис. 3.18).

Процесс либерализации прошел достаточно быстро. В 1988 г. был задан курс на приватизацию, а в 1990 г. она уже была проведена. Одновременно был создан специализированный пул для торговли электроэнергией, а разрозненные регуляторы были объединены. Параллельно произошло разделение деятельности по распределению и сбыту с целью снижения влияния высококонцетрированных сбытовых компаний.

С данной же целью в 2002 г. был введен ряд недискриминационных условий, направленных на формирование полноценной конкуренции на розничном рынке. Так начали функционировать независимые генераторы (Powergen, National Power и Nuclear Electric), национальная сетевая

компания была приватизирована, а сегмент распределения был разделен на 12 региональных зон, в каждой из которых теперь функционировала частная компания, осуществляющая также функцию сбыта (рис. 3.19).

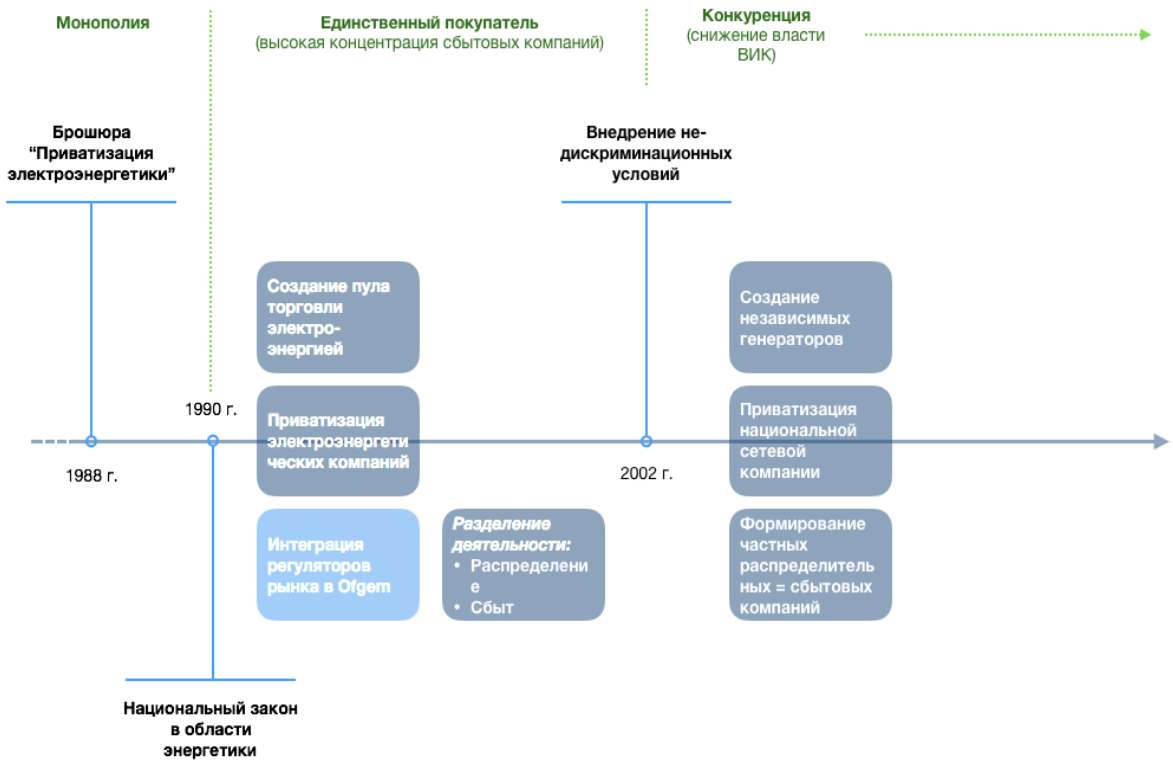

Рис. 3.18. Трансформация модели розничного рынка электроэнергии в Великобритании (схематично) [198]

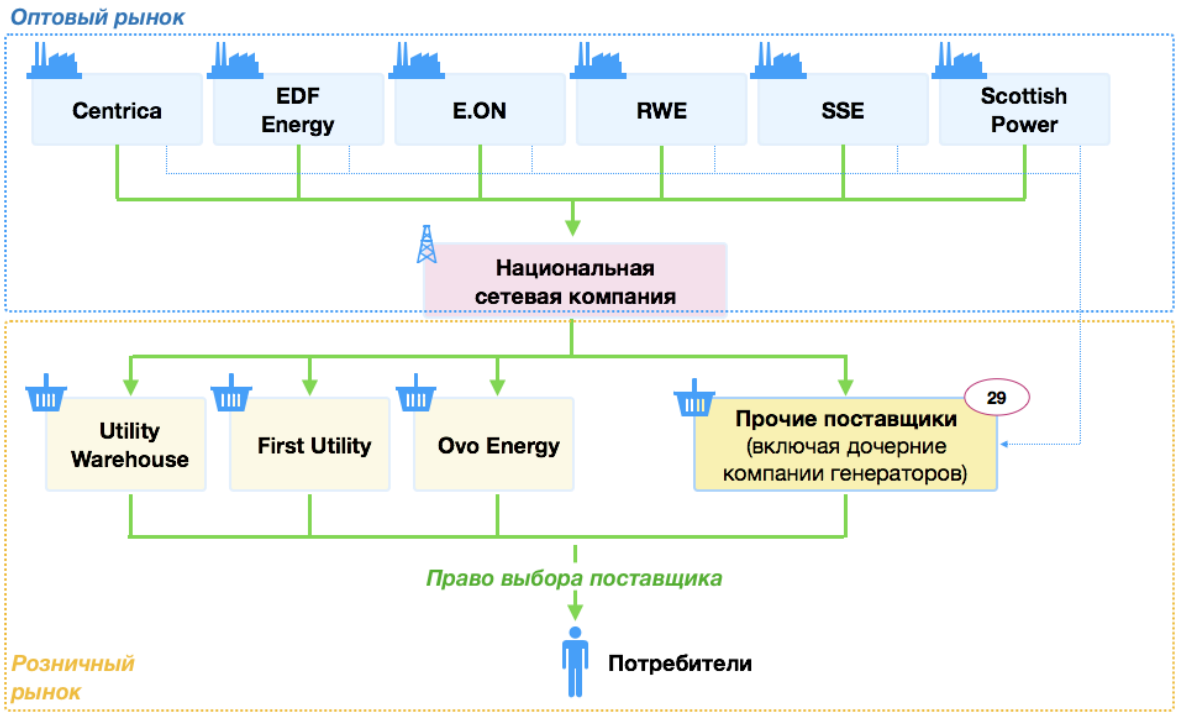

Рис. 3.19. Схема розничного рынка электроэнергии Великобритании [199, 200, 201]

Текущая модель розничного рынка электроэнергии

В настоящее время модель розничного рынка представляет собой конкуренцию (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Модель розничного рынка электроэнергии Великобритании

Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Биржа ценовых заявок
Уровень концентрации в генерации	6 крупнейших генераторов занимают 70 % рынка
Количество сбытовых компаний	12 сбытовых компаний занимают 100 % рынка
Уровень интеграции переделов	Генерация Передача Распределение + Сбыт
Потребительский выбор сбытовой компании	Да
Модель	***Конкуренция***

** [199, 200, 201]*

Рынок представляет собой полноценную конкуренцию. Тем не менее, основные сложности заключаются в том, что, несмотря на наличие у потребителей выбора, их линия поведения является довольно пассивной (рис. 3.20).

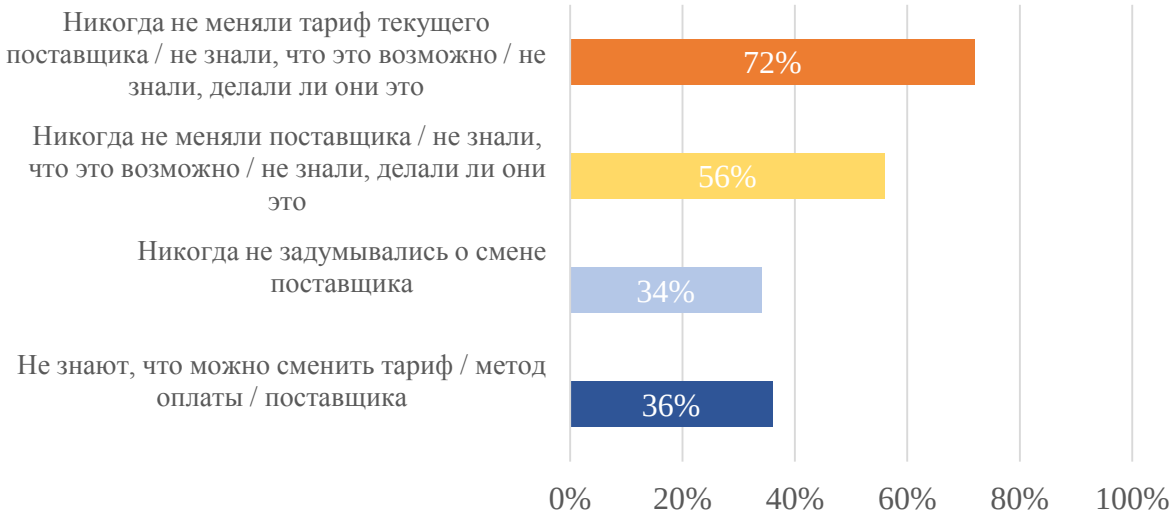

Рис. 3.20. Степень проактивности розничных потребителей электроэнергии в Великобритании [197]

Более того, около 20–30 % потребителей *розничного* рынка являются клиентами конкретного поставщика на протяжении более чем 10 лет.

То есть фактически рынок представляет собой некую форму единственного покупателя, искусственно созданную пассивностью конечных потребителей. И это как раз та сфера, на которую направлено основное внимание регуляторов.

3.2.7. Сравнительный анализ текущих моделей розничных рынков зарубежных стран

Основная часть рассмотренных стран в настоящее время адаптировала модель конкуренции на розничном рынке (табл. 3.12).

Тем не менее, существуют случаи, когда в рамках одной страны одновременно реализуется несколько моделей (рис. 3.21).

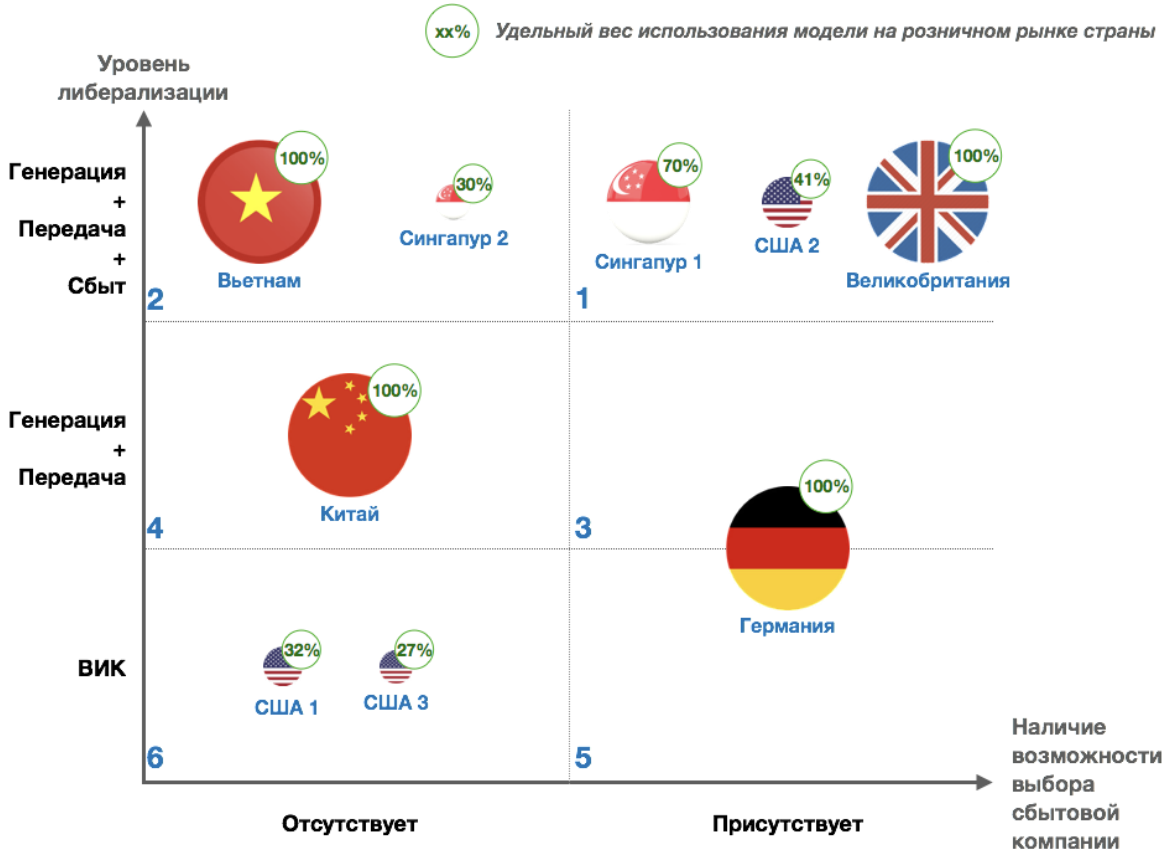

Рис. 3.21. Классификация используемых рассматриваемыми странами в настоящее время моделей розничных рынков электроэнергии

Таким образом, модели розничных рынков рассматриваемых стран можно сгруппировать в несколько категорий в зависимости от уровня их либерализации и наличия у потребителя выбора сбытовой компании. В первую категорию попадают модели Великобритании, США 2 и Сингапур 1 – как наиболее либеральные. Во втором квадранте матрицы находятся модели Вьетнама и Сингапура 2 – на них разделены основные виды деятельности, но у потребителя отсутствует возможность выбора сбытовой компании. Германия представляет собой гибрид 3 и 5 группы, поскольку в ней генерация, распределение и сбыт интегрированы, а передача отделена. Китай находится в 4 квадранте со средней степенью разделения видов деятельности и отсутствием выбора. Наименее либеральными из рассмотренных моделей являются США 1 и США 3.

Таблица 3.12

Сравнительный анализ текущих моделей розничных рынков электроэнергии рассматриваемых стран

	США			Китай	Вьетнам	Сингапур		Германия	Великобритания
	Централизованный розничный рынок		Рынок 2-сторонних договоров (ВИК = ГП)			Сбытовая компания – участник рынка	Сбытовая компания – не участник рынка		
	ВИК	*Выбор в рознице*							
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Механизм формирования цены на электроэнергию для потребителей	Гос. регулирование	Смешанное	Смешанное	20-летний контракт для сбытовой компании	Гос. регул-ие	Конкурентное (ценовые заявки)	Гос. регулироваие	Биржа ценовых заявок	Биржа ценовых заявок
Уровень концентрации в генерации	5 крупнейших генераторов занимают 22 % рынка			5 крупнейших генераторов занимают 100 % рынка	5 крупнейших генераторов занимают 77 % рынка	5 крупнейших генераторов контролируют 78 % рынка		4 крупнейших генератора занимают 70 % рынка	6 крупнейших генераторов анимают 70 % рынка
Количество сбытовых компаний	5 крупнейших сбытовых компаний занимают 56 % рынка			5 аффилированных с генераторами + 300 местных	5 сбытовых компаний занимают 100 % рынка	26 компаний		Около 900	12 сбытовых компаний занимают 100 % рынка
Уровень интеграции переделов	ВИК	Генерация Передача Распределение + Сбыт	ВИК	Генерация Передача + Распределение + Сбыт	Генерация Передача Распределение + Сбыт	Генерация Передача Распределение + Сбыт		Генерация + Распределение + Сбыт Передача	Генерация Передача Распределение + Сбыт

Окончание табл. 3.12

	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Потребительский выбор сбытовой компании	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Да (для допущенных)*	Нет	Да	Да
Модель	*Монополия*	*Конкуренция*	*Монополия*	*Единственный покупатель*	*Единственный покупатель*	*Конкуренция*	*Единственный покупатель*	*Конкуренция*	*Конкуренция*
Удельный вес использования модели на розничном рынке страны	***32 %***	***41 %***	***27 %***	***100 %***	***100 %***	***70 %***	***30 %***	***100 %***	***100 %***

** США 1 – ВИК; США 2 – выбор в рознице; США 3 – рынок 2-сторонних договоров*

*** Сингапур 1 – сбытовые компании являются участниками рынка, Сингапур 2 – не являются*

3.3. Влияние активных моделей поведения потребителей на розничные рынки электроэнергии

В последнее время в розничных рынках электроэнергии многих стран в значительной степени повысилась роль конечных потребителей. Они начинают занимать более активную позицию в работе рынка.

При рассмотрении «активных» потребителей зачастую исходят из противоположного – то есть рассматривают их отличие от противоположной категории – «пассивных» потребителей.

Пассивная модель подразумевает стратегию поведения потребителя, при которой управление режимом его энергопотребления не осуществляется или осуществляется в незначительном объеме и в ручном режиме (что характерно, скорее, для крупных промышленных потребителей). При этом потребитель не обладает свободой в выборе поставщика электроэнергии и, тем более, не является активным участником рынка с использованием собственной генерации. Данная модель поведения является традиционной почти для всех стран (с некоторыми региональными особенностями).

Активная модель поведения строится на двух базовых аспектах:

− активное управление собственным энергопотреблением;

− использование собственной малой генерации и/или накопителей электроэнергии с возможным активным участием на *розничном* рынке.

Активные потребители делятся на две базовые группы: промышленные и коммерческие (юр. лица); и домохозяйства (физ. лица). Подобное разделение целесообразно по 2 причинам: во-первых, у этих групп существенно различается объем потребления (что делает промышленных потребителей более активными в реализации решений по оптимизации энергопотребления и развитию собственной генерации); а во-вторых, различается подход государственных органов по регулированию цен/дотаций/субсидий для данных групп (для домохозяйств электроэнергия зачастую дешевле). Тем не менее, подобное положение вещей будет иметь место лишь до того момента, когда вход на рынок будет настолько беспрепятственным, что домохозяйства смогут функционировать на нем наравне с крупными промышленными субъектами.

Активная стратегия поведения только начинает получать свое распространение в некоторых наиболее экономически развитых странах. В большинстве развивающихся стран концепция реализуется пока только на уровне пилотных проектов и проработки глобальной стратегии технологической и институциональной либерализации энергетического рынка.

Сразу необходимо отметить, что ввиду высокой капиталоемкости и сложности электроэнергетического рынка переходный период к рынку нового типа будет довольно продолжительным, поэтому *пассивная* стратегия поведения потребителей будет сохраняться еще долгое время. Более того, для некоторых групп потребителей (строительная отрасль, ж/д и прочие виды транспорта) активная стратегия технически нереализуема.

Потребительское поведение каждой из данных групп обусловлено набором собственных детерминант (рис. 3.22).

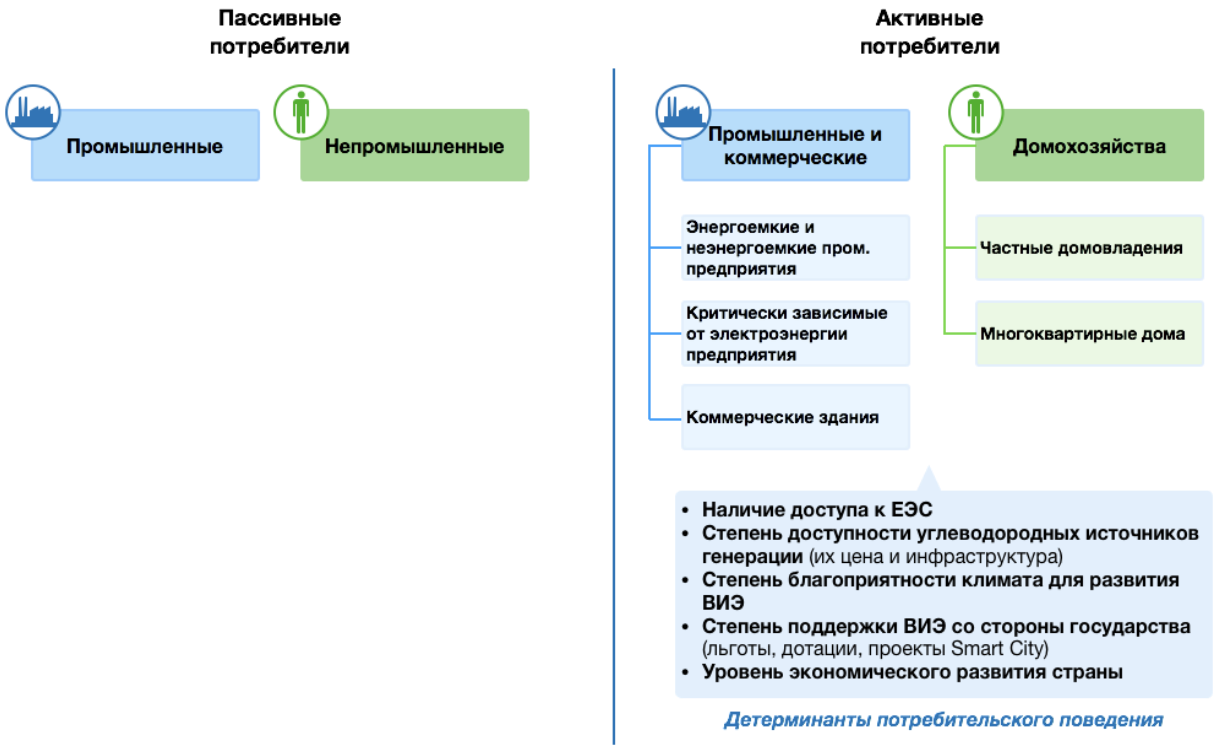

Рис. 3.22. Классификация потребителей электрической энергии

Ниже будет представлена характеристика рассматриваемых групп потребителей электрической энергии

3.3.1. Пассивные потребители

Как видно из рис. 3.22, пассивные потребители делятся на 2 группы: промышленных и непромышленных.

Промышленные потребители – производственные предприятия, которые характеризуются значительным уровнем энергопотребления и весомой долей в энергопотреблении региональной энергосистемы. Подключение таких потребителей к ЕЭС подразумевает высокий уровень финансовых затрат на выполнение технических условий на подключение, а также возможной необходимостью адаптировать свой цикл производства (особенно актуально для энергоемких предприятий) под возможности энергосистемы.

Стратегия поведения таких потребителей может быть:

– *полностью пассивной*, подразумевающей энергопотребление без ориентира на тарифы и технические возможности энергосистемы (такой стратегии могут придерживаться некрупные промышленные предприятия, расход на электроэнергию в структуре затрат которых занимает относительно небольшой удельный вес);

– *пассивной с элементами управления энергопотреблением* – с учетом тарифов на электроэнергию, стимулирующих различные группы потребителей распределять собственные нагрузки в течение суток таким образом, чтобы в энергосистеме фактическая нагрузка стремилась к величине, соответствующей максимальной экономической эффективности – точке излома энергетической характеристики, а среднее значение тарифа для каждой группы и объем производимой энергии оставались неизменными. Потребители могут использовать один из следующих вариантов управления своим энергопотреблением:

▪ *оптимизация режимов электропотребления, учитывающая специфику тарифообразования на электроэнергию*. То есть подразумевается поиск возможности такого снижения потребляемой электроэнергии, которое обеспечило бы максимальное снижение суммарных затрат предприятия при сохранении плана выпуска продукции и с учетом ограничения по допустимой величине снижения, требуемой для сохранения устойчивого технологического режима работы предприятия;

▪ *оптимизация режимов электропотребления по критерию минимума расхода энергетических ресурсов*. То есть нахождение производительности в каждой зоне графика нагрузки энергосистемы для каждой технологической установки потребителя по критерию минимального суммарного расхода энергетических ресурсов при заданных ограничениях допустимого колебания суточного плана выпуска продукции;

▪ *распределение ограниченного объема электроэнергии* в условиях возникновения дефицита в энергосистеме между различными предприятиями или технологическими установками одного предприятия, обеспечивающее минимальный народнохозяйственный ущерб от снижения потребляемой мощности.

Непромышленные потребители – все группы потребителей, не входящие в первую группу: частные домохозяйства, многоквартирные дома, складские, офисные, торговые здания (предприятия) и пр. Все перечисленные группы потребителей имеют схожие потребительские паттерны, так как на традиционном рынке у них нет возможности выбирать поставщика электроэнергии (или такая возможность номинальна), они не обладают собственной генерацией и не управляют энергопотреблением в автоматическом режиме (то есть перенос работы приборов на непиковые часы осуществляется в ручном режиме).

3.3.2. Активные потребители

Промышленные и **коммерческие**

Энергоемкие и неэнергоемкие промышленные предприятия

Стратегия поведения активных промышленных потребителей включает в себя участие в программах по управлению спросом:

– автоматическое снижение нагрузки в аварийных случаях;

– автоматическое управление режимами работы оборудования (перенесение нагрузки во времени) исходя из критерия минимизации затрат;

– предоставление системной услуги по снижению энергопотребления с получением оплаты в размере эквивалента загрузки в пиковые часы.

Крупные предприятия также часто в своих энергетических стратегиях используют различные технологии малой энергетики: ко- и тригенерационные установки (миниТЭЦ для энергоемких предприятий и микроТЭЦ для предприятий с небольшим энергопотреблением), а также различные генерирующие установки на ВИЭ. Выбор формата осуществляется исходя их ряда факторов: доступность углеводородного сырья, погодно-климатические условия, политика государства.

Использование когенерации наиболее выгодно для потребителей с постоянным потреблением электроэнергии и тепла. МиниТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) – теплосиловые установки, служащие для совместного производства электрической и тепловой энергии в агрегатах единичной мощностью до 25 МВт, сейчас активно развиваются почти во всем мире. Тем не менее, подобные решения, несмотря на ряд очевидных преимуществ, имеют определенные недостатки (поскольку в качестве основного вида топлива используется природный газ) (табл. 3.13).

Таблица 3.13

Преимущества и недостатки миниТЭЦ

Преимущества	Недостатки
Тепло используется непосредственно в месте получения, что обходится дешевле, чем строительство и эксплуатация многокилометровых теплотрасс (в силу существенного снижения потерь при передаче). Потребитель приобретает энергетическую независимость от сбоев в электроснабжении и аварий в системах теплоснабжения. Электроэнергия зачастую обходится дешевле ввиду отсутствия необходимости оплаты содержания пиковых мощностей. Подобное решение позволяет избежать затрат на строительство дорогостоящих и опасных высоковольтных линий электропередач (ЛЭП). Отпадает необходимость нести финансовые затраты на выполнение технических условий на присоединение к сетям централизованного электроснабжения	Возможные перебои с поставками газа (необходимость иметь запасное подключение к ЕЭС). Риски, связанные с использованием легко воспламеняемого топлива

Однако для газа существует альтернатива – развитие собственной генерации на ВИЭ (солнечные электростанции, ветрогенераторы и пр.) – которая также обладает рядом недостатков:

– нестабильность генерации (она существенно зависит от природных условий);

– ограниченная мощность генерации (обусловленная текущим уровнем развития технологии, а также в отдельных случаях – законодательными ограничениями[10]);

– высокая стоимость генерации (в настоящее время прослеживается тренд к ее снижению, тем не менее, стоимость электроэнергии в традиционной генерации все еще ниже).

В отдаленной перспективе наличие накопителей электроэнергии большого объема позволит решить проблему нестабильности генерации из ВИЭ, а также повысит энергобезопасность предприятия и упростит управление энергопотреблением.

На данном этапе развития рынка электроэнергии у потребителей, имеющих собственные генерирующие мощности, нет возможности продавать излишки на рынке, однако передовыми странами постепенно проводятся институциональные реформы, позволяющие сменить устоявшуюся вертикальную модель рынка.

Критически зависимые от электроэнергии предприятия

К категории критически зависимых от поставок электроэнергии предприятий относятся такие учреждения, как аэропорты, больницы и некоторые другие, для которых разрыв в электроснабжении несет большие риски. Соответственно, для них ключевым мотивом в стратегии поведения на рынке является повышение надежности электроснабжения.

С этой целью такими учреждениями до сих пор зачастую содержались резервные мощности на дизельных генераторах, однако в настоящее время наблюдается тенденция развития собственной генерации на ВИЭ. В дальнейшем прогнозируется постепенный переход в сторону накопителей энергии.

Коммерческие здания

Под коммерческими зданиями подразумеваются в первую очередь крупные офисные здания и торговые центры. Их поведение характеризуется высокой степенью автоматизации управления своего энергопотребления (развивающаяся в настоящее время концепция «умных зданий»).

Концепция подразумевает слаженную работу системы освещения, отопления и кондиционирования, а также контроль факторов, влияющих на необходимость включения или отключения указанных систем – режимы работы указанных инженерных систем и электроприборов отслеживаются и регулируются в автоматическом режиме. В более сложных системах в общую систему включаются также счетчики воды, насосы, пожарная сигнализация, лифты, системы доступа и чиллерные установки с датчиками и системами управления.

[10] К примеру, в Российской Федерации установлено следующее ограничение: субъекты, чьи генерирующие мощности превышают 25 МВт, как правило, должны выходить на оптовый рынок электроэнергии.

Подобная система зачастую реализует 2 стратегии (могут применяться в тандеме):

– *энергоэффективность* – использование оптимального старта/остановки работы инженерных систем с последующим самообучением;

– *группировка энергетических нагрузок* – разделение установленных энергопринимающих устройств на категории критичности и отключение наименее критичных из них в определенные периоды времени с целью снижения общего объема энергопотребления.

Коммерческое здание также может выступать в роли генератора в городской микросети. Излишки электроэнергии, полученные в результате использования собственных генерирующих установок, могут выдаваться в общую сеть с целью снижения выбора электроэнергии из ЕЭС, тем самым снижая объем общего электропотребления на уровне целого города. Подобные системы также могут эффективно дополняться накопителями, которые также используются в стратегии повышения эффективности использования доступной электрической энергии (как самими зданиями, перераспределяя график потребления, так и прочими субъектами микро-сети).

Домохозяйства

Частные домовладения

Активная стратегия поведения частного домохозяйства подразумевает:

– управление своим энергопотреблением в рамках реализации концепции «умный дом» (аналог концепции «умного здания», но меньшего масштаба);

– использование собственной генерации, как правило, из ВИЭ (либо микроТЭЦ). Потребитель имеет возможность более эффективного использования полученных в результате собственной генерации излишков электрической энергии: либо путем ее накопления с последующим потреблением в периоды дефицита; либо путем продажи ее прочим субъектам розничного рынка электроэнергии.

Многоквартирные дома

Активная стратегия поведения совокупности потребителей в многоквартирных домах затрагивает по большей части сферу генерации. Отличие данной группы потребителей от предыдущей заключается в коллективном развитии генерации и индивидуального управления электропотреблением. Здесь используются микроТЭЦ – небольшие установки для индивидуальных домов или небольших зданий, которые предназначены для совместного производства тепловой и электрической энергии; либо солнечные панели на крышах домов. При этом дома могут объединяться в микросети, о которых упоминалось ранее.

Управление энергопотреблением осуществляется на уровне отдельно взятой квартиры в рамках концепции «умный дом».

3.3.3. Детерминанты потребительского поведения

Наличие доступа к ЕЭС

В зависимости от наличия доступа к единой энергосистеме промышленные предприятия, частные домовладения и некоторые коммерческие потребители имеют склонность к развитию собственной генерации, а также возможность продажи излишков электроэнергии на розничном рынке.

Здесь речь идет, прежде всего, о географически удаленных от сетей домах и небольших населенных пунктах. Такие потребители изначально рассчитывали на собственную генерацию, однако, хотя ранее зачастую использовались дизельные генераторы, сейчас ими активно осваиваются ВИЭ.

Также потребители, не имеющие доступ к ЕЭС, склонны более рационально относиться к своему энергопотреблению и использовать различного рода накопители.

Степень доступности углеводородных источников энергии

В странах, где углеводородные источники являются статьей экспорта (имеют низкую цену), наблюдается менее активная политика государства и отдельно взятых потребителей по развитию альтернативной энергетики и рационализации своего энергопотребления.

Действительно, какая бы не была полемика вокруг проблемы глобального потепления, на потребительский выбор в первую очередь влияет цена на традиционную электроэнергию.

Вторым важным фактором выбора является доступность соответствующей инфраструктуры: в случае, если потребители имеют доступ к мини- и микроТЭЦ, то, скорее всего, они будут использовать именно подобные технологии генерации – а не ВИЭ.

Степень благоприятности климата для развития ВИЭ

Специфика климата отдельно взятой территории оказывает существенное влияние как на выбор источника ВИЭ (ветер, солнце, пр.), так и на активность его использования.

В таких странах с высокой среднегодовой температурой и обилием солнечных дней, как Испания и США (южные штаты), наиболее активно развиваются солнечные электростанции.

Для северных, но ветряных стран, таких как Великобритания и Дания, более актуально развитие ветряных электростанций.

Для небольшого числа территорий, таких как Исландия, характерна высокая доля использования геотермальной энергии.

Степень поддержки ВИЭ со стороны государства (льготы, дотации, проекты «Smart City») и уровень экономического развития страны

Степень развитости в той или иной стране активных стратегий потребления находится в зависимости от двух ключевых факторов:

– степени экономического развития государства и соответствующего уровня проникновения инновационных технологий в обществе;

– государственная политика в области развития ВИЭ.

Среди экономически развитых стран степень использования ВИЭ в основном обусловлена политическими факторами (климатические факторы являются предпосылками политик в области развития альтернативных источников энергии). Так, в странах, где со стороны государства уделяется больше внимания «новой энергетике», наблюдается высокая степень ее интеллектуализации, а также более высокая инновационная активность (США, Дания), и, соответственно, большая доля потребителей использует активную модель поведения.

Также показательным примером являются развивающиеся страны, в которых, несмотря на более скромные экономические и институциональные возможности, благодаря государственной политике наблюдается существенный прогресс в ВИЭ (Бразилия, Китай, ЮАР).

Глава 4. Современные практики управления электроэнергетическими компаниями

4.1. Управление активами в рамках процесса цифровизации электроэнергетики

4.1.1. Практики управления производственными активами в электроэнергетике и внедрение стратегического подхода

Какие активы имеют стратегическое значение для инфраструктурной компании? В зависимости от конкретной компании различные активы могут быть названы «стратегическими», имеющими критическое значение для достижения корпоративных и бизнес-целей, однако очевидно, что управление наиболее значимыми активами, их оптимизация и создание дополнительной ценности, должны лежать в основе стратегии.

В основе управления производственными активами лежат интеграция и синхронизация различных управленческих практик как на стратегическом, так и на операционном уровнях, охватывающие различные типы и группы активов.

Срок службы генерирующего оборудования определяет показатели производительности и загрузки мощностей, соответственно, для генерирующих компаний оборудование является стратегическим активом. Для сетевых компаний, активы которых распределены в пространстве, на первое место встает соответствие требованиям регулятора при принятии решений о развитии сетевой инфраструктуры.

Цепочка создания ценности в электроэнергетике включает следующие основные процессы: генерация, передача и распределение электроэнергии, сбыт. Дерегулирование предполагает, что каждый процесс должен обеспечиваться за счет рыночных механизмов отдельно от других процессов по цепочке. Во многих странах генерирующие компании осуществляют свою деятельность в условиях рынка, также активно внедряются рыночные механизмы на розничном рынке (хотя до сих пор применяются затратные методы регулирования, ограничения по цене и метод эталонов – там, где у потребителя нет возможности выбрать сбытовую компанию, которая в таком случае является гарантирующим поставщиком).

При этом электросетевые компании (передача и распределение электроэнергии) зачастую остаются строго регулируемыми со стороны государства в связи с естественно-монопольным положением. Сбытовые компании, в отличие от сетевых операторов и генерирующих компаний, не вынуждены содержать инфраструктуру, но обязаны сокращать эксплуатационные затраты (аренда и содержание помещений, оплата труда и т. д.).

Вне зависимости от вида деятельности, все компании сталкиваются с изменениями в регулировании, бизнес-среде и технологиях и при этом должны обеспечивать бесперебойную работу системы при условии кон-

троля над издержками. Затраты определяются в том числе стоимостью топлива, условиями поставщиков, а также необходимостью инвестировать в развитие инфраструктуры, что существенно увеличивает общие затраты в отраслевой цепочке создания ценности. При этом возможности переложить данные затраты на потребителя серьезно ограничены регуляторами, что еще раз подтверждает необходимость внедрения комплексного стратегического подхода к управлению производственными активами. Необходимо развивать организационные способности в сфере клиентоориентированности, интеграции различных операций, повышения эффективности и результативности, а также управления затратами.

Ответственность за принятие решений по инвестициям в стратегические активы лежит не только на менеджменте корпоративного уровня, но и на персонале операционного уровня, где происходит сбор и сопоставление данных о состоянии активов.

Независимо от этапа цепочки, на котором осуществляет свою деятельность компания, как генерирующие, так и сетевые компании, управляют не только ключевой инфраструктурой, но и вспомогательными активами. Транспортные средства и различные инструменты для проведения инспекции и ремонта основного оборудования также нуждаются в периодическом обслуживании и ремонте. Информационные технологии формируют инфраструктуру, которая поддерживает ключевые активы, различные системы и службы собирают данные об основном капитале и трудовых ресурсах (рис. 4.1).

В то же время целостный подход к управлению всеми видами активов требует внедрения интегрированных решений, которые будут охватывать всю организацию и позволять принимать управленческие решения, максимизирующие показатель ROA (рентабельность активов). Управление производственными активами охватывает управленческие решения, которые непосредственно связаны с генерированием и ростом выручки. Эти решения в большей степени применимы к основным, внеоборотным, производственным, чем к финансовым, нематериальным или знаниевым активам.

Для электроэнергетических компаний основными группами являются производственные активы (генерирующее оборудование, передающая и распределительная сетевая инфраструктура и т. д.), административно-хозяйственные объекты (здания и сооружения), парк транспортных средств и передвижное оборудование, а также информационно-аналитическое обеспечение.

Ключевые практики управления производственными активами в электроэнергетических компаниях

В настоящее время можно выделить несколько ключевых практик [203], которые инфраструктурным компаниям необходимо внедрять как ответ на вызовы трансформации отрасли.

Рис. 4.1. Возможности цифровизации в цепочке создания ценности электроэнергетических компаний [202]

Первая практика связана с выстраиванием целостной системы управления производственными активами, охватывающей все уровни менеджмента, о чем было подробно написано выше.

Вторая практика предполагает выстраивание эффективной и результативной информационной системы сбора, сопоставления, обработки и анализа данных, позволяющей создавать дополнительную ценность в системе управления производственными активами.

Данные должны быть в основе каждого решения, принимаемого по жизненному циклу производственных активов и по цепочке создания ценности электроэнергетической компании. Для этого необходимо, чтобы были настроены эффективные каналы коммуникации, а анализируемые данные представляли собой основу для принятия конкретных управленческих решений. Рост показателя ROI напрямую зависит от способности организации увидеть ценность данных и информации как стратегического актива и основы для дифференциации на рынке.

Также здесь возникает проблема качества данных, которое должно быть обеспечено за счет введения систем дополнительного планирования и контроля. Повышение качества собираемых данных позволит организации проводить своевременные меры по текущему обслуживанию, ремонту

и замене оборудования, которые будут обоснованы с точки зрения издержек и возможности повысить рентабельность инвестиций. Чем больше разнородных и взаимосвязанных активов в организации, тем сложнее и больше данных необходимо собирать и обрабатывать, что требует внедрения соответствующих организационных структур, систем планирования, мотивации и контроля.

Таким образом, данная практика предполагает следующие шаги для совершенствования системы управления производственными активами:

− выделять данные как отдельный вид активов. Данные и «культура работы с данными» должны стать приоритетными сферами в организации, поскольку данные имеют стратегическое значение благодаря тому, что могут быть монетизированы и повлиять на рост дохода без дополнительных вложений. Необходимо четко определить роли и ответственность в системе управления данными о производственных активах на всех уровнях менеджмента;

− определить конкретные показатели эффективности, которые будут использованы для оценки системы работы с данными. Данные, являющиеся критичными для принятия решений по управлению производственными активами, должны идентифицироваться, собираться и обрабатываться в соответствии с определенным внутри организации стандартом для обеспечения возможности их сопоставления, глубокого анализа и отслеживания трендов в динамике. Необходимо создать внутри организации органы, регулирующие процессы сбора, хранения и оценки данных;

− рассматривать данные с экономической точки зрения и расставлять инвестиционные приоритеты в соответствии с таким подходом, балансируя между краткосрочными и долгосрочными целями организации, издержками и доходами;

− искать дополнительные возможности использования и повышения отдачи от данных о производственных активах, а также развития организационных способностей в сфере аналитики и работы с данными. Для этого данные должны быть интегрированы для различных корпоративных платформ (системы операционного уровня, финансы, датчики состояния оборудования), что позволит получить целостную аналитическую оценку данных, которая будет сформирована командой экспертов на каждом уровне менеджмента и сформулирована на языке принятия управленческих решений при снижении издержек.

Третья ключевая практика связана с изменением подхода к управлению производственными активами на операционном уровне.

Увеличение показателей производительности активов оказывает существенное влияние на достижение показателей эффективности, определенных при составлении плана управления производственными активами. Однако следует принимать во внимание влияние так называемого «человеческого фактора» – устаревшие методы, временные затраты и вопросы,

связанные с безопасностью и охраной труда, могут оказывать негативное влияние на итоговые значения производительности активов. Кадровая проблема стоит остро, поскольку опытные сотрудники уходят на пенсию, и возникает проблема управления талантами и передачи знаний новым сотрудникам. Требования регулятора и финансовые ограничения заставляют компании искать способы снижения издержек путем оптимизации процессов, а также обращаться к подрядчикам для проведения работ вне рамок основного вида деятельности (например, строительства зданий и сооружений).

Внедрение новых технологий позволит преодолеть эти и другие проблемы путем радикального изменения характера управления производственными активами, трансформируя производительность и удовлетворенность труда на операционном уровне.

Современные технологии меняют сам процесс работы на операционном уровне, обеспечивая в режиме реального времени взаимодействие пользователей, устройств и систем, и тем самым роль персонала операционного уровня меняется, права расширяются и включают ответственность за принятие решений.

Операторы передающих и распределительных сетей внедряют датчики для удаленного контроля и мониторинга оборудования, генерирующие компании внедряют системы, позволяющие оптимизировать графики выработки электроэнергии. При этом контролирующие службы перестают выполнять исключительно функцию «контролировать и давать распоряжения», а скорее оказывают необходимую поддержку и делегируют полномочия ответственным на операционном уровне, что является значимым сдвигом и с точки зрения операций, и с точки зрения корпоративной культуры.

Применение соответствующих технологий для каждого случая увеличивает возможности снижения издержек, повышения ROI, поддержания текущих операций и улучшения потребительского опыта (рис. 4.2).

Очередным испытанием для инфраструктурных компаний является необходимость достигать баланса между затратами, рисками и результатами работы всей системы. Износ производственных активов, рост стоимости генерации электроэнергии и необходимость реагировать на появление прорывных инноваций увеличивают давление на компании с точки зрения необходимости увеличения инвестиций в поддержание, развитие и модернизацию их базы производственных активов.

Принимая во внимание ужесточение требований, в том числе по безопасности и охране труда, снижению рисков и повышению надежности системы, компании электроэнергетического сектора вынуждены повышать эффективность – достигать максимального эффекта при ограниченных ресурсах, разрабатывая и внедряя новые, более совершенные практики управления производственными активами. Ускорение трансформации сектора и усложнение отраслевой цепочки создания ценности не отменяет того факта, что инвестиции, вложенные сегодня, будут иметь долгосрочные послед-

ствия на десятилетия вперед. Для того чтобы максимизировать отдачу от этих инвестиций, инфраструктурные компании должны совершенствовать управление стоимостью актива в течение срока его полезного использования, а также управление рисками, ценностью производственных активов.

Технологии	Применение	Выгоды
Удаленные и мобильные устройства	От интеллектуальных до беспроводных сенсоров. Удаленные устройства производят обмен точными данными в режиме реального времени между компанией и ее поставщиками	Полевые сотрудники могут принимать более активную роль в принятии решений
Беспилотные летательные аппараты (БПЛА / дроны)	Наблюдение за активами на местности позволяют проводить детальный осмотр и записывать информацию о состоянии активов и факторах окружающей среды	Существенные преимущества в издержках и безопасности
Искусственный интеллект	Применение алгоритмов машинного обучения для предсказания и идентификации активов и зон повышенной степени риска	Предотвращение перебоев, переход от дорогой реактивной политике к эффективному, основанному на рисках, обслуживанию
Технологии носимой электроники	Удаленный трекинг положения и жизненных показателей полевых работников	Мониторинг состояния и снижение рисков в режиме реального времени
Блокчейн	Цифровые системы управления цепочками поставок и процессами	Повышенная эффективность и более низкие издержки благодаря установлению “единой версии событий” по отношению к статусу активов

Рис. 4.2. Как эволюция технологий влияет на операционный уровень управления производственными активами [203]

Еще одной ключевой практикой совершенствования систем управления производственными активами является конвергенция информационных и операционных технологий [204], которая предопределена интеграцией систем, оборудования и прочих активов в рамках системы принятия решений инфраструктурной компании. Эта практика напрямую связана, во-первых, с развитием корпоративного управления, а именно с внедрением общих корпоративных стандартов и политик, которые должны обеспечить оптимизацию используемых систем на операционном уровне, чтобы избежать создания дублирующей или излишней информации. Во-вторых, в настоящее время границы между активами операционными и информационными размываются, о чем говорилось выше. Единственный способ решения проблем износа оборудования, стареющей рабочей силы и морального износа корпоративных систем – увеличить размер инвестиций в продвинутые информационные и инжиниринговые технологии.

Компании должны осознать растущую взаимозависимость между индивидуальными производственными активами и необходимостью выстраивать прозрачные информационные потоки для решения вопросов риск-менеджмента и соблюдения требований регулятора.

Совершенствование операционной деятельности подразумевает увеличение гибкости, масштабируемости и внедрения стандартов, направленных на рост производительности и показателя ROA.

Практика УПА в электросетевых компаниях [205]

Множество сетевых компаний начинают внедрять модели управления производственными активами, которые имеют четко определенную структуру ответственности. Компании начинают осознавать, что прибыльность, стабильность и результативность деятельности тесно коррелируют с приобретением, текущим обслуживанием и ремонтом и оптимизацией по жизненному циклу производственных активов. Управление производственными активами по их жизненному циклу становится существенным источником снижения издержек, увеличения срока полезного использования, а также позволяет соблюдать требования регулятора и формировать устойчивое конкурентное преимущество.

Фокус на такой организации системы управления производственными активами, когда жизненный цикл становится частью системы принятия решений сетевой компании, позволил разработать существенно улучшенные бизнес и операционные модели.

Операционная модель при таком подходе делится на три критических элемента:

1) *собственник актива.* Собственник актива определяет корпоративные цели, допустимые параметры риска и затрат, ключевые показатели результатов деятельности и несет ответственность за соблюдение нормативных требований и требований законодательства. Собственник обязан предоставить инструкции по эксплуатации менеджеру по управлению активами, а также обеспечить действующее соглашение об уровне обслуживания актива;

2) *менеджер по управлению активом.* Менеджер несет ответственность за разработку стратегии управления производственными активами, определение политики, управление рисками, инвестициями, а также планирование текущего обслуживания и ремонта (кроме графика работ) и управление контрактами с подрядчиками. При таком подходе принятие управленческих решений напрямую зависит от «потребности» актива: менеджер распределяет финансовые ресурсы, а также определяет политики и процедуры, используемые оператором актива (провайдером обслуживания активов);

3) *оператор актива.* Оператор актива несет ответственность непосредственно за текущее обслуживание и ремонт производственных активов. Сюда включается составление графика работ и распределение человеческих ресурсов для наиболее эффективного и результативного исполнения программ обслуживания, определенных менеджером. Оператор не принимает решения относительно распределения бюджета.

Фокусируясь на корневых компетенциях, сетевые компании могут обеспечить долгосрочное выживание за счет извлечения дополнительной ценности на основе сложной и распределенной в пространстве базы активов. Поэтому лучшая практика в сфере управления производственными активами сетевой компании основана на принципах соединения стратегии и ключевых ценностей с процессами по жизненному циклу актива, а также балансировании между рисками, результативностью и затратами. Выживание в условиях рынка возможно только для тех компаний, который достигнут этого баланса при повышении финансовой результативности деятельности.

Практика УПА в генерирующих компаниях [205]

В настоящее время успех в сегменте генерации электроэнергии подразумевает, что управляющие электростанций должны проводить мониторинг достижения как тактических, так и стратегических целей и операционных ограничений, а также управлять стратегическими целями при изменении внешних условий.

Управление портфелем производственных активов – серьезная задача, особенно в условиях, когда компании заключают сделки по купле и продаже электростанции для достижения собственных стратегических целей, например, диверсификации портфеля или повышения доли возобновляемых источников энергии. Новый собственник должен в кратчайший период встроить новые активы в текущие процессы и системы, обеспечить взаимосвязь между всеми генерирующими активами для достижения требуемых уровней результативности и соблюдения требований регулятора. Это справедливо для всех типов электростанций вне зависимости от размера и типа используемого топлива.

Быстрая и своевременная интеграция новых производственных активов или внедрение стандартов в рамках существующего портфеля и функционирующих электростанций являются потенциальным источником для снижения затрат.

Грамотное управление производственными активами по их жизненному циклу позволит увеличить создаваемую и присваиваемую стоимость даже при высоком уровне износа генерирующего оборудования,

Извлечение максимальной выгоды от интеграции систем управления производственными активами и их текущего обслуживания и ремонта имеет высокую значимость в условиях роста конкуренции в секторе генерации электроэнергии. Системы, которые могут управлять как схожими, так и различными группами активов вне зависимости от их географического расположения позволят улучшить показатели деятельности организации и повысить конкурентоспособность.

Стратегический подход к управлению производственными активами в электроэнергетических компаниях

Трансформация реактивного подхода в управлении производственными активами в проактивный позволит максимизировать ценность базы акти-

вов, и такая трансформация должна быть основана на принципах оптимизации, внедрения совершенных методов обработки и анализа данных, а также использования предиктивной и предписывающей аналитики (рис. 4.3).

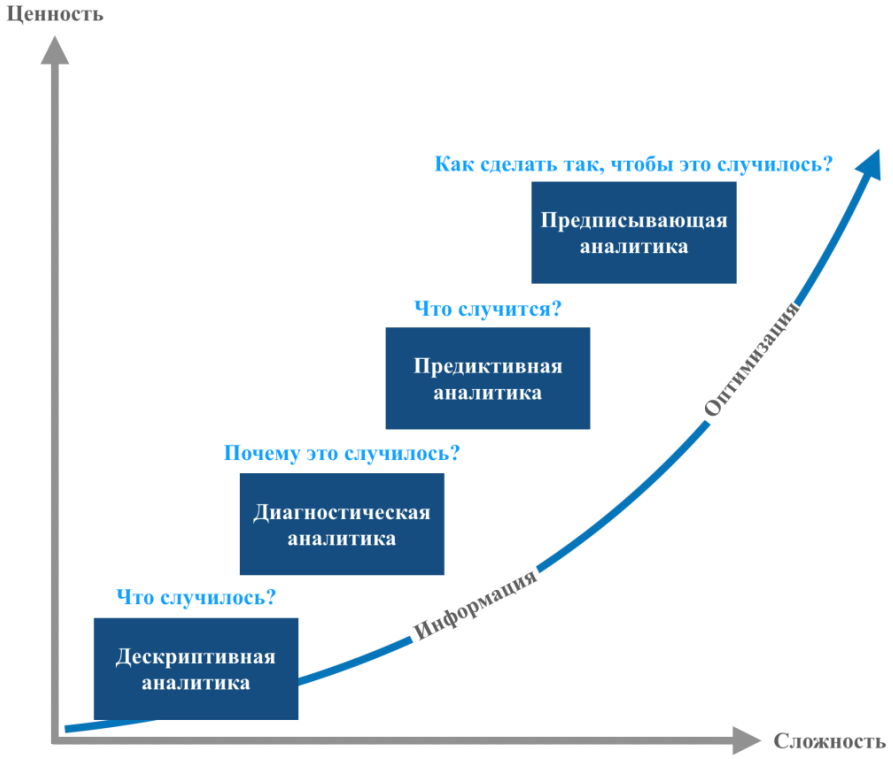

Рис. 4.3. Переход к проактивному подходу к управлению производственными активами [206]

Стратегическое управление производственными активами подразумевает осуществление капитальных инвестиций в долгосрочной перспективе и с целью повышения показателя рентабельности активов (ROA). Стратегический подход предполагает управление по типу «сверху вниз» и определение и периодическое обновление ключевых показателей эффективности для операционного уровня, а также критических компонентов, влияющих на результативность.

При таком подходе каждая функция операционного уровня должна приносить свой вклад в достижение корпоративных целей. Текущие операции, обслуживание и ремонт оборудования должны вносить вклад в поддержку высоких показателей производительности основных производственных активов. Для электроэнергетических компаний высокий уровень надежности операций является важнейшим показателем, а приобретение и введение в эксплуатацию нового оборудования повышает уровень надежности, в таком случае издержки вторичны. Инженерно-технические работы должны быть основаны на принципах комплексного управления производственными активами на базе жизненного цикла и создания дополнительной ценности благодаря снижению средних издержек, повыше-

нию удобства эксплуатации и вероятности восстановления эксплуатационных характеристик. На рис. 4.4 схематически представлена лучшая практика в сфере управления производственными активами электроэнергетической компании, подразумевающая переход к стратегическому подходу.

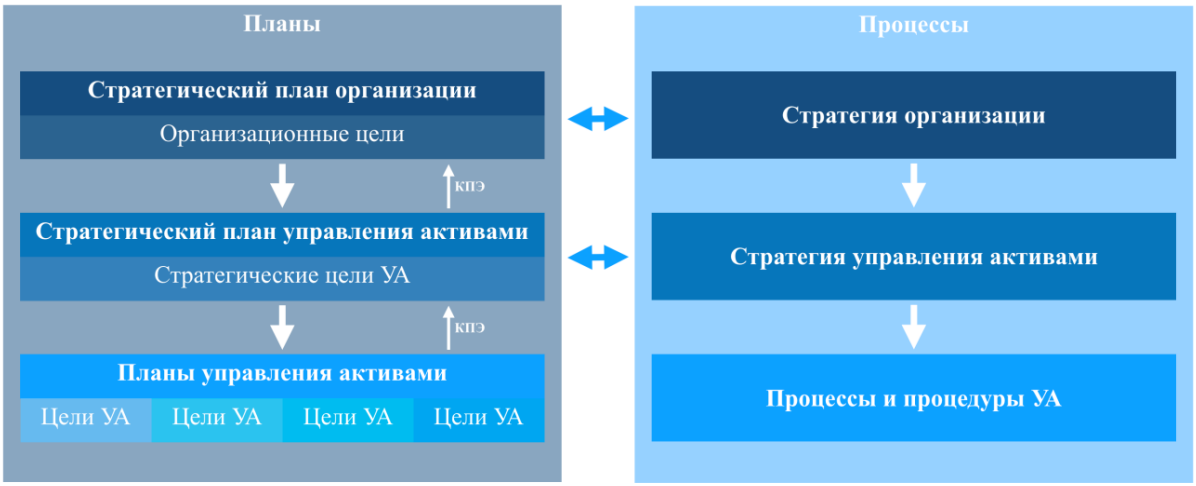

Рис. 4.4. Лучшая практика в сфере управления производственными активами электроэнергетической компании [207]

Переход к стратегическому взгляду на процесс управления производственными активами предполагает переход к ориентации на бизнес-цели и экономическую устойчивость решений, принимаемых относительно затрат на содержание и эксплуатацию оборудования и инфраструктуры электроэнергетических компаний. Большая часть затрат на жизненный цикл активов уже закладывается на стадиях концепции и дизайна, однако активы электроэнергетических компаний обычно имеют очень длительные жизненные циклы (до 50 лет и больше для некоторых групп активов), поэтому существенные изменения могут произойти в зависимости от изменений внешних и внутренних факторов, а первоначальная оценка инвестиций и их рентабельности должна периодически пересматриваться. Цели по достижению прибыльности и оптимизации издержек в рамках жизненного цикла актива существенно влияют на стратегию управления производственными активами и стратегический выбор компании [206].

В рамках процесса управления производственными активами главной задачей является устойчивое получение прибыли от вложенных инвестиций или улучшение данных показателей в процессе эксплуатации и текущего обслуживания. В таком случае сложнее всего принимать решения по вложениям во вновь создаваемые активы или замене и модернизации существенной части активов, то есть как раз на стадиях разработки концепции и дизайна будущей системы.

Зачастую управление производственными активами ошибочно воспринимается как более широкий взгляд на управление техническим об-

служиванием и ремонтом или как набор операций на уровне оборудования и производства. В последнее время все больше специалистов из бизнеса и науки воспринимают корпоративную стратегию как важную часть управления производственными активами. Принятие решений на корпоративном уровне отличается существенным уровнем свободы, и заданные на верхнем уровне ключевые показатели эффективности затем переводятся на язык операционного уровня и включаются в основу для принятия решений по эксплуатации и обслуживанию производственных активов [208].

На рис. 4.5 представлено схематичное изображение того, как связаны различные аспекты управления на корпоративном уровне и уровне управления производственными активами:

– создание и эксплуатация активом с целью повышения показателей прибыльности и рентабельности;

– техническое облуживание и оптимизация чистой стоимости производственных активов;

– повышение устойчивости и безопасности ключевых операций.

Рис. 4.5. Связь аспектов управления производственными активами на различных уровнях менеджмента [209]

Стратегия управления производственными активами на корпоративном уровне является функцией четырех ключевых факторов [209]:

– корпоративные ценности, миссия, видение, стратегические цели;

– текущая технология;

– стратегическая позиция и прочие характеристики компании;

– характеристики рынка.

Стратегия должна определять, когда и какие активы должны быть выведены из эксплуатации, а также когда необходимо осуществить допол-

нительные инвестиции в строительство или модернизацию новой инфраструктуры. Стратегия также включает решения по техническому обслуживанию и ремонту активов для того, чтобы достигались целевые показатели ROA и ROI.

Также в стратегии должны быть учтены и прочие решения по управлению производственными активами, включая решения по слияниям и поглощениям, аутсорсингу и реструктуризации производственной системы. Роли, ответственность и делегирование полномочий также описываются на всех уровнях менеджмента.

Горизонт планирования в рамках корпоративной стратегии должен совпадать с горизонтом планирования в отношении производственных активов и в идеальном варианте учитывать жизненный цикл и срок полезного использования активов. Последним, но не менее важным аспектом является необходимость приведения в соответствие с финансовой стратегией компании всех типов затрат (капитальных и операционных), относящихся к управлению производственными активами.

Все факторы (внешние и внутренние), влияющие на корпоративную стратегию и стратегию управления производственными активами, схематически изображены на рис. 4.6.

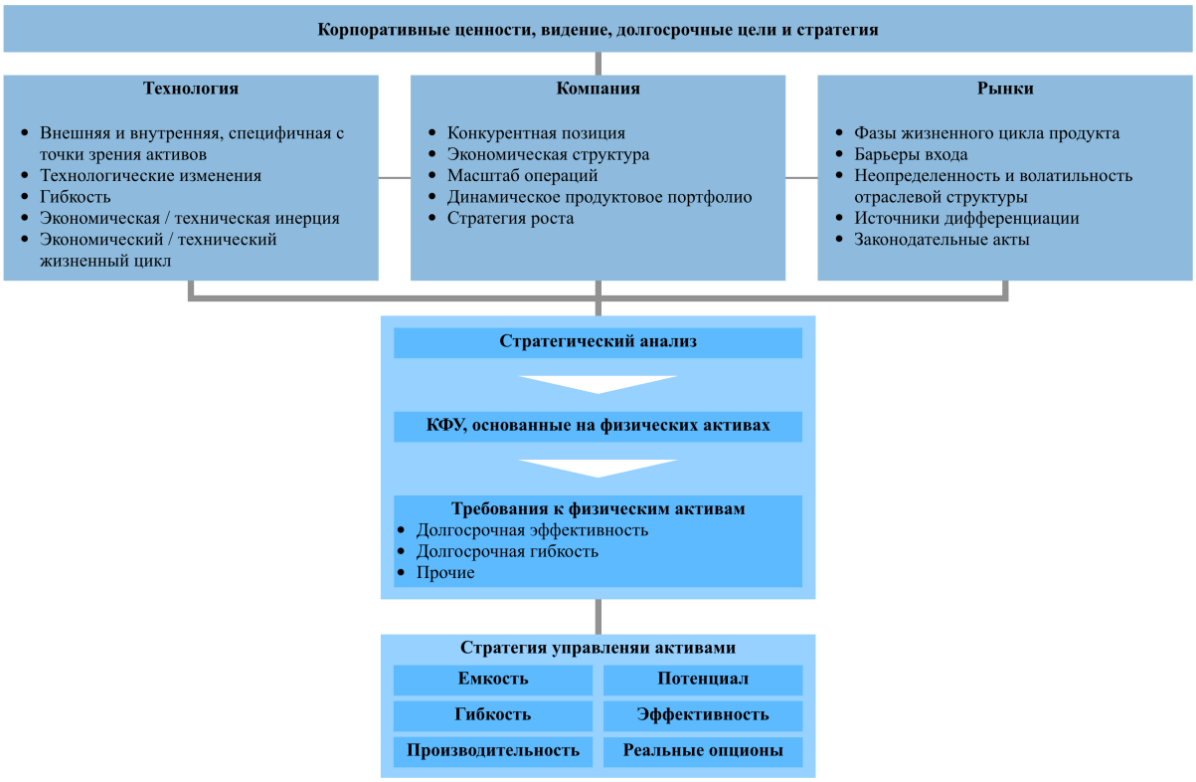

Рис. 4.6. Факторы, влияющие на корпоративную стратегию и стратегию управления производственными активами [209]

Как видно из рисунка, внедрение стратегического подхода к управлению производственными активами, с одной стороны, подразумевает, что

принятие решений осуществляется на всех уровнях менеджмента в организации и стратегия в отношении активов должна отражать корпоративные миссию и видение, ценности, стратегические цели, определенные ключевыми стейкхолдерами компании, а также учитывать результаты стратегического анализа и выработанные сценарии и стратегические альтернативы. С другой стороны, стратегия должна включать цели и ограничения на уровне оборудования и инфраструктуры, а также для электросетевых компаний имеет значение географическая распределенность активов – делегирование ответственности должно соответствовать непосредственному местонахождению активов.

Деятельность, связанная с управлением производственными активами электроэнергетических компаний, состоит из множества задач, которые в той или иной степени привязаны к определенному уровню менеджмента. Управление портфелем бизнесов включает те задачи в рамках управления производственными активами, которые позволят достичь долгосрочных стратегических целей компании. Решения по слияниям и поглощениям, выводу из эксплуатации объектов, аутсорсингу видов деятельности или созданию совместных предприятий представляют собой типичную задачу для менеджеров по управлению производственными активами на корпоративном уровне.

Выработка конкурентных преимуществ подразумевает идентификацию факторов и режимов ведения ключевых операций, которые соответствуют рыночным процессам, что важно не только на корпоративном и конкурентном уровне, но и она операционном.

Управление производительностью на корпоративном уровне подразумевает прогнозирование спроса и анализ конкурентоспособности различных производственных единиц, что ложится в основу для принятия решений по осуществлению капитальных инвестиций, распределению ресурсов или аутсорсингу.

Управление жизненным циклом является задачей, решаемой на всех уровнях организации: корпоративный менеджмент должен определять ожидаемый экономически обоснованный срок службы производственных единиц и, таким образом, определять горизонт осуществления инвестиций, а также затраты и прибыль в течение жизненного цикла активов. На операционном уровне жизненный цикл определяет решения по техническому обслуживанию и ремонту с целью удержать или улучшить конкурентную позицию организации благодаря своевременному осуществлению необходимых инвестиций.

На уровне непосредственно производственных активов осуществляется технико-экономический анализ, определение оптимальных затрат и графика модернизации и замены оборудования. Комплексный подход к управлению производственными активами организации на всех уровнях менеджмента схематично изображен на рис. 4.7.

Рис. 4.7. Комплексный подход к управлению производственными активами [209]

Влияние рыночной динамики и технологических изменений зависит в том числе и от природы спроса и конкуренции. Принятие решений о вводе в эксплуатацию новых активов или изменению текущей базы активов зависит и от текущего портфеля, и от технологий, которые уже внедрены в основные процессы. С одной стороны, часть видов деятельности по управлению производственными активами может быть отдана на аутсорсинг, но на самом деле рынок и конкуренция ограничивают такие возможности.

Традиционная или стандартная технология влияют на снижение инвестиционных рисков за счет того, что можно делать инкрементальные изменения в системе, а внедрение специфических и прорывных технологий сразу повышает инвестиционные риски, поскольку требует радикальных изменений в системе (рис. 4.8).

Несмотря на различные цели, преследуемые менеджерами по управлению активами, эти цели должны соответствовать стратегическим целям организации и поддерживать их достижение. Устойчивое создание ценности для стейкхолдеров может быть достигнуто через стратегию роста или стратегию повышения производительности.

Рост достигается за счет поиска новых путей увеличения дохода и повышения ценности для конечного потребителя, например, через совершенствование сервиса. Повышенная производительность достигается за счет оптимизации структуры затрат и роста коэффициента загруженности мощностей. Возможности создания ценности для электроэнергетических компаний через управление производственными активами представлены на рис. 4.9.

Рис. 4.8. Влияние различных сред на стратегии управления производственными активами [209]

Рис. 4.9. Как электроэнергетическая компания может создавать ценность [210]

Вне зависимости от этапа ценностной цепочки в электроэнергетике, все компании отрасли (генерация, сети, сбыт) должны проанализировать и оценивать данные альтернативы для того, чтобы улучшить результаты своей деятельности в условиях растущей конкуренции и усиления влияния внешних факторов.

Управление производственными активами усложняется и постепенно охватывает все новые задачи, соответственно, задача менеджера принимать решения на основе такой точки зрения, которая рассматривает инфраструктуру и производственные активы как важнейший ресурс для развития бизнеса. Отсюда вытекает необходимость комплексного подхода на всех уровнях менеджмента, в отличие от традиционного – функционального и операционного подхода. Производственные активы должны рассматриваться как источник формирования дополнительного дохода, которые поддерживают достижение целей бизнеса и при этом способствуют устойчивости и повышению конкурентоспособности всей организации. Соответствие целей в управлении производственными активами корпоративным целям организации является источником создания дополнительной ценности.

Рис. 4.10 иллюстрирует взаимосвязь между корпоративными целями и целями в сфере управления производственными активами. Менеджеры по управлению производственными активами должны принимать такие решения, которые улучшат финансовые показатели, повысят уровень и качество сервиса, а также будут способствовать минимизации рисков. Однако проблема одновременного достижения этих целей заключается в том, что результативность зависит от базы производственных активов, а финансовые показатели, уровень сервиса и риски тесно связаны друг с другом. Невозможно в одно и то же время достичь максимального значения по всем трем направлениям, соответственно, в основе принятия решений должно лежать понимание взаимосвязи и взаимозависимости различных показателей и целей, в том числе на корпоративном уровне, для достижения баланса, позволяющего максимизировать создаваемую ценность.

Рис. 4.10. Симбиоз целей в сфере управления производственными активами и бизнес-целей организации [210]

Ценность, создаваемая в процессе управления производственными активами, заключается в принятии оптимальных инвестиционных решений, решений по эксплуатации и требованиям к техническому обслуживанию и прочим целевым показателям эффективности системы. Необходимо

рассматривать по отдельности такие процессы, которые подразумевают принятие решений, влияющее на создание ценности, для того, чтобы внести ясность в сложные взаимосвязи внутри системы управления производственными активами. В таком случае внимание сосредотачивается на ключевых процессах, которые обладают набольшим потенциалом для создания ценности, вместо того, чтобы рассматривать каждый процесс и каждое решение индивидуально.

Под ключевыми процессами понимаются такие процессы, которые включают управление производственным активом на протяжении всего его срока полезного использования, начиная от покупки и введения в эксплуатацию, текущего обслуживания, ремонта, модернизации и заканчивая выводом из эксплуатации.

Подход, основанный на идее жизненного цикла производственного актива, подразумевает, что ключевые процессы сосредоточены в трех фазах последовательного управления жизненным циклом актива: планирование, создание, операции и текущее обслуживание. Каждая из этих фаз предполагает наличие поддерживающих процессов (рис. 4.11), которые позволяют достигать целей стратегии управления производственными активами.

Рис. 4.11. Стратегические процессы в рамках управления производственными активами [210]

Создаваемая ценность зависит также и от того, как быстро окупаются совершенные инвестиций, то есть с точки зрения управления производственными активами интерес представляет также увеличение рентабельности инвестиций в долгосрочном периоде (ROI). Принятие решений, основанное на ценностном подходе, является одним из важнейших элементов разработки стратегии управления производственными активами.

Своевременное и грамотное распределение инвестиций позволяет сократить издержки, повысить результативность деятельности, проактивно управлять рисками и развивать культуру непрерывного совершенствования в стратегической перспективе.

Цикл постоянного совершенствования процесса управления производственными активами должен обеспечиваться за счет всех уровней менеджмента в организации. Стратегический план должен включать описание и ответственность ролей в рамках технического обслуживания, ключе-

вых операций, инженерно-технических работ, учета и менеджмента в привязке к ожидаемым показателям результативности производственных активов. Ключевой фактор успеха заключается в том, чтобы учесть все факторы и закрепить в организации культуру изменений и постоянного совершенствования (рис. 4.12).

Рис. 4.12. Уровни зрелости в принятии решений по управлению производственными активами [211]

Стратегическое управление активами – это, по сути, новый подход к созданию и извлечению дополнительной ценности в процессе управления производственными активами. Стратегический подход подразумевает формирование целей по принципу «сверху вниз» для увеличения прибыльности в процессе управления инфраструктурой и человеческими ресурсами. Постановка целей должна основываться на оценке потенциальной прибыльности оборудования и инфраструктуры в зависимости от внешних условий, а также внутренних переменных, подконтрольных менеджменту организации. Прогноз спроса, эксплуатационные характеристики и требования потребителя должны лежать в основе принятия решений о поддержке и расширении базы производственных активов.

Выгода перехода к стратегическому управлению производственными активами очевидна: в условиях растущей конкуренции способность предоставлять услуги более высокого качества с высокой маржинальностью при низких издержках дает более широкий коридор принятия решений по ценообразованию, а значит, более устойчивые конкурентные преимущества.

4.1.2. Перспективы развития практик управления производственными активами в электроэнергетике в условиях цифровизации

Электрификация, декарбонизация и децентрализация – это ключевые тренды, которые стимулируют развитие новых бизнес-моделей в электроэнергетике в настоящий момент. Цифровизация и развитие новых технологий представляют собой еще один тренд, существенно меняющий конкурентный ландшафт в электроэнергетике.

С ростом энергоэффективности и соответствующим замедлением спроса в развитых экономиках перед электроэнергетическими компаниями встает задача управления производственными активами по всему их жизненному циклу, начиная от введения в эксплуатацию и заканчивая последующим техническим обслуживанием, без возможности увеличивать доходы только за счет повышения нагрузки. Одновременно растут затраты на поддержание изношенной инфраструктуры, модернизацию систем для противодействия климатическим изменениям и кибератакам и внедрение возобновляемых источников энергии вслед за ужесточением требований ключевых стейкхолдеров. Однако цифровизация не только представляет собой угрозу для развития компаний сектора, но также может быть существенным источником создания дополнительной ценности от внедрения инноваций. Внедрение технологий обработки данных, умных датчиков, облачных сервисов, Интернета вещей, дополненной реальности и искусственного интеллекта предоставляют новые широкие возможности для развития устойчивых конкурентных преимуществ как для традиционных игроков, так и для новых участников рынка, благодаря возможностям оптимизации управления производственными активами и повышения результативности управленческих решений [212].

Перед компаниями сектора возникают беспрецедентные возможности для роста и внедрения инноваций благодаря снижению стоимости новых технологий, таких как возобновляемые источники энергии, электрический транспорт или накопители высокой емкости. Выход на новые рынки в рамках единой стратегии управления производственными активами позволит текущим участникам рынка сохранить конкурентоспособность и повысить прибыль. У новых игроков на рынке преимущество в гибкости и возможности в более короткие сроки внедрять прорывные инновации, развивая новые бизнес-модели и операционные стратегии, нацеленные на улучшение потребительского опыта и активное вовлечение потребителя в ценностную цепочку (рис. 4.13).

Для сохранения конкурентоспособности электроэнергетические компании должны в режиме реального времени осознавать состояние своих производственных активов – генерирующего оборудования, передающей и распределительной инфраструктуры.

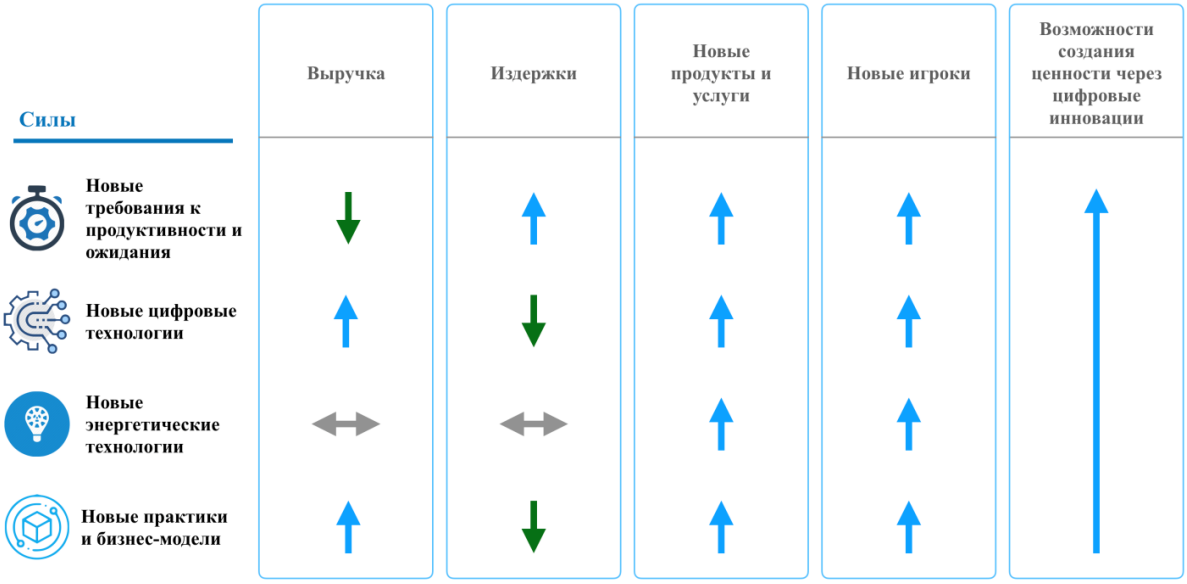

Рис. 4.13. Потенциал влияния прорывных инноваций на бизнес в электроэнергетике [212]

В настоящий момент персонал операционного уровня управляет данными почти столько же, сколько непосредственно производственными активами. Аналитические инструменты, датчики и инструменты визуализации позволяют сократить издержки на техническое обслуживание и ремонт, а сам характер работы персонала операционного уровня существенно меняется и требует дополнительной квалификации и переобучения. Цифровые двойники производственных активов, по сути, дублируют физические характеристики и параметры режима работы оборудования и инфраструктуры, идентифицируя и предсказывая сбои в работе системы.

Изменение характера процесса управления производственными активами (рис. 4.14) меняет и роль производственных активов в рамках развития новых бизнес-моделей электроэнергетических компаний.

С точки зрения управления производственными активами, на каждом этапе ценностной цепочки существует фокус на области, которая в большей степени определяет возможности увеличить создаваемую ценность.

Для генерирующих компаний ключевой фокус на самой базе производственных активов, а задача менеджера по управлению производственными активами – обеспечить оптимизацию активов таким образом, чтобы компания соответствовала рыночным трендам и гибко реагировала на изменения цен.

В сетевых компаниях фокус будет несколько различаться для магистральных и распределительных сетей. Передача электроэнергии требует фокуса на всей системе и межсистемном взаимодействии. Задача менеджеров по управлению производственными активами – внедрять технологии, которые будут способствовать большей интеграции с распределительными сетями. Для распределительных сетей главный фокус – на создаваемой цен-

ности, а менеджеры по управлению производственными активами должны принимать такие решения, которые повысят ценность распределительной сети для ключевых стейкхолдеров и особенно потребителей. На первое место встают технологии, способствующие повышению результативности системы и позволяющие потребителю активно вовлекаться в процесс.

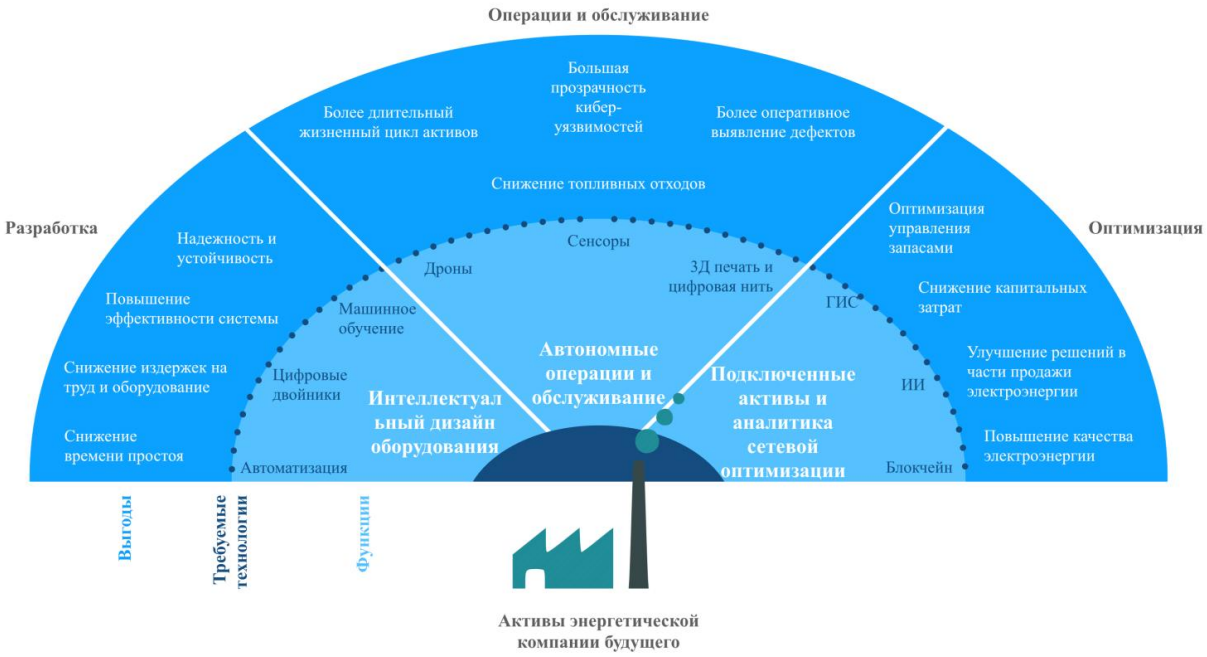

Рис. 4.14. Новая роль производственных активов электроэнергетических компаний [212]

Элементы цепочки создания ценности в электроэнергетике становятся все более связанными и зависимыми друг от друга, формируя интегрированную экосистему, состоящую из уникальных элементов – различных видов бизнеса, каждый из которых имеет свой специфический фокус. Это стимулирует развитие новых бизнес-моделей в электроэнергетике.

Существующие участники рынка должны перейти от видения только в рамках своего вида деятельности к видению всей цепочки и возможностей взаимодействия с другими ее элементами. Новые игроки на рынке должны определить, каким образом они будут интегрироваться в систему и взаимодействовать с существующими игроками и потребителями. Взаимная интеграция по всей ценностной цепочке предполагает, что производственные активы на каждом этапе так или иначе связаны, и управление всей системой направлено на улучшение потребительского опыта, что предполагает дальнейшее развитие и распространение интеллектуальных энергосистем.

Трансформация бизнес-моделей электроэнергетических компаний предполагает, что управление производственными активами является частью новой модели функционирования компаний в рамках развивающихся интеллектуальных энергосистем. Управление производственными активами как часть новой бизнес-модели может стать существенными источни-

ком преимущества в дифференциации и подразумевает различия в основе получения и драйверах роста прибыли, внешних угрозах и фокусе в стратегии управления производственными активами. В традиционных бизнес моделях возврат на инвестированный капитал был ключевым показателем результативности, то есть фокус был на снижении издержек как основного инструмента роста прибыли. В условиях появления и распространения новых бизнес-моделей фокус смещается в сторону повышения маржинальности за счет ценообразования и роста выручки, то есть появляются возможности развития преимуществ в дифференциации. Драйверы роста прибыльности будут зависеть от вида деятельности и проявления бизнес-модели в рамках ценностной цепочки, а также соответствующей базы производственных активов [213].

Компаниям необходимо оценить свои ключевые компетенции и определить стратегические разрывы для того, чтобы понять, каким образом нужно строить конкурентные преимущества в децентрализованных интеллектуальных энергосистемах.

Вне зависимости от выбранной бизнес-модели компании должны определить, каким образом повысить показатели ROA и ROI за счет более совершенных практик управления производственными активами, внедрения стратегического подхода к управлению жизненным циклом активов и активного вовлечения в процесс принятия решений ключевых стейкхолдеров. В рамках дальнейшего исследования предполагается описание функции управления производственными активами как части бизнес-модели энергетической компании на основе разработанной типологии. Планируется определение драйверов роста прибыли, описание ключевых внешних угроз и выделение необходимого фокуса в стратегии управления производственными активами.

4.2. Бизнес-модели электроэнергетических компаний в рамках трансформационных преобразований отрасли

Формирование экосистемы инноваций нового порядка, ускоренные темпы разработки технологических решений изменяют условия функционирования электроэнергетического рынка и создают новые вызовы для его игроков. Конечный потребитель в каждом из сегментов данного рынка начинает иначе смотреть на продукты или услуги, предлагаемые ему, его набор ценностей трансформируется.

Процесс же преобразований происходит ускоренными темпами, гораздо быстрее, чем ранее предполагалось, что заставляет компании принимать решения в более сжатые сроки и внедрять изменения в свою деятельность. Трансформация становится ключевым фактором конкурентоспособности, влияние которого только усилится в ближайшем будущем [214].

Важным моментом является то, что изменения, происходящие на рынке электроэнергии, изменяют цепочку создания стоимости, а не просто затрагивают ее отдельные этапы. Потребители перестают играть пассивную роль, за счет развития распределенной генерации они могут стать полноправными участниками рынка.

В общем смысле централизованная и масштабируемая модель электроэнергетического рынка должна превратиться в цифровую и персонализированную, где ключевой характеристикой будет являться децентрализация. Обеспечить такую трансформацию способно применение совершенно новых ресурсов и серьезное обновление стратегических приоритетов.

Исследование, посвященное факторам, которые будут наиболее значимыми на рынке и в каком-то роде станут драйверами его трансформации, выявило, что именно технологическое развитие является драйвером прогресса отрасли. Изменение регуляторной политики, поведения потребителей и даже действия конкурентов играют второстепенную роль [214].

Потребители в условиях трансформируемого рынка и появления новых решений в области хранения электроэнергии, ее генерации, особенно учитывая распределенную генерацию, интеллектуальные сети, понимают, что перед ними открываются совершенно новые возможности для взаимодействия с электроэнергетическими компаниями. И, соответственно, их ожидания также трансформируются. Разные группы клиентов, особенно представленные юридическими лицами, становятся более самостоятельными и в партнерстве с технологическими компаниями, которые также начинают играть активную роль на рынке, способны создавать новые формы взаимодействия и представлять угрозу для традиционных компаний.

Поэтому для сохранения положения на рынке электроэнергетическим компаниям важно поддерживать свою значимость для клиента и быть способными удовлетворить его возрастающие запросы.

Исследование, проведенное консалтинговой компанией PwC в 2018 г. для выявления наиболее важных аспектов для потребителей, позволяет выстроить определенное дерево факторов. Оно представлено на рис. 4.15.

Соответствие компании данным факторам будет ключевым аспектом успешности деятельности на рынке в ближайшем будущем.

Ввиду скорости происходящих изменений на электроэнергетическом рынке и глубинности этих процессов, традиционные компании становятся не единственными полноправными его участниками. В отрасли появляются новые участники с бизнес-моделями, отвечающими современным вызовам, при этом среди данных игроков есть и просьюмеры. Поэтому, говоря о бизнес-моделях электроэнергетических компаний, важно учитывать весь спектр участников рынка.

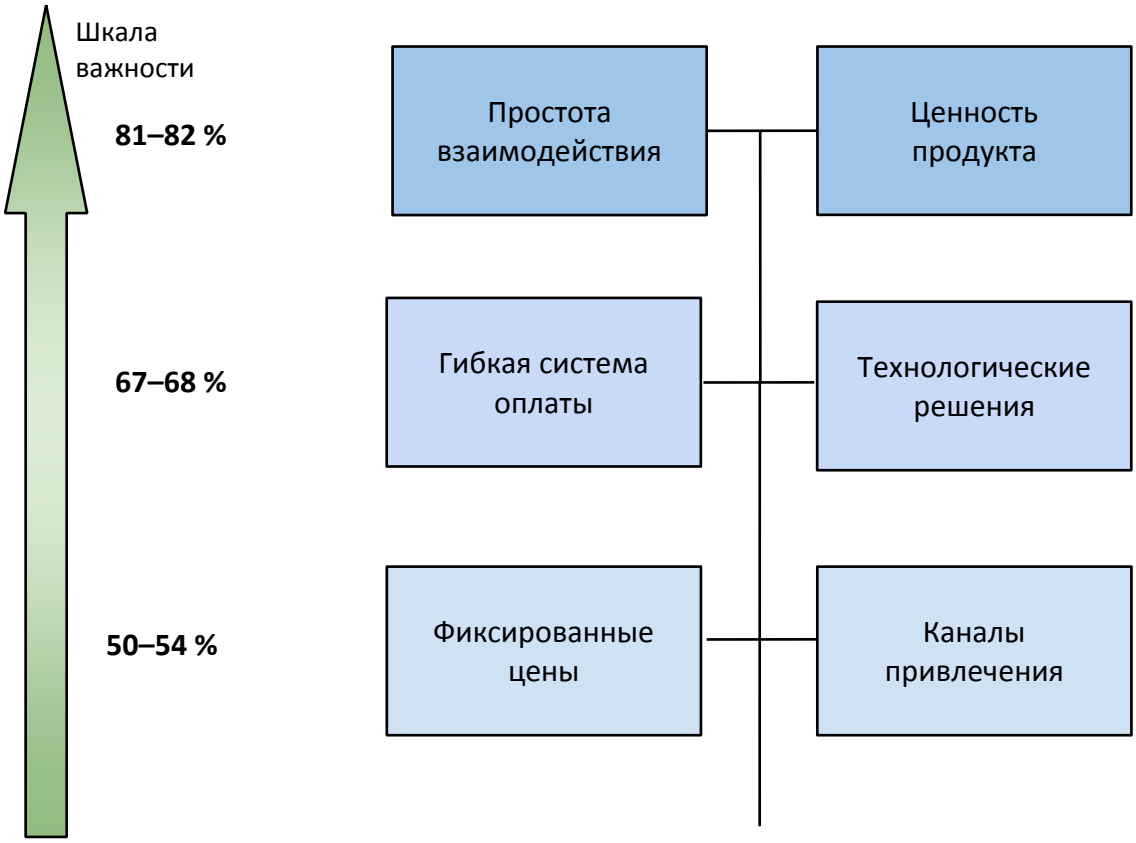

Рис. 4.15. Дерево факторов, наиболее важных для потребителей на рынке электроэнергетики (сформировано на основе [214])

4.2.1. Трансформация бизнес-моделей основных участников электроэнергетического рынка

Принимая во внимание изменения энергетического сектора, в том числе превращение просто потребителя в просьюмера, который может быть полноправным участником электроэнергетического рынка и в некоторой степени составлять конкуренцию традиционным компаниям, последним необходимо определить дальнейшее развитие рынков, на которых они функционируют; то, как эти рынки изменятся под влиянием технологических нововведений; а также то, что это будет значить для их стратегий. По прогнозам PwC [5], в течение последующих 5–10 лет будет достигнуто масштабное распространение ряда разрушительных технологий (например, распределенная генерация, накопители, микросети, электромобили, интеллектуальные приборы учета), и в рамках этой новой парадигмы компаниям нужно будет определить собственную роль (табл. 4.1).

Текущие и новые игроки должны задаться вопросом в отношении того, какую роль они будут играть с точки зрения развития рынка, вовлечения потребителей и бизнес-деятельности: пассивную (следование за рынком) или активную (создание рынка). Для начала компаниям необходимо определить, какое место на рынке они хотят занять (какая у них цель и «желаемый результат) – хотят ли они функционировать во всех сегмен-

тах или только в определенных зонах. Затем им необходимо определиться с тем, на каких началах они будут конкурировать с другими участниками[11] (предоставление потребителю широкого выбора или нескольких высокоценностных продуктов).

Таблица 4.1

Будущие роли в энергетическом секторе (адаптировано из [5])

Возникающая роль	«Поставщик электрической энергии»	«Интегратор»	«Посредник»	«Оптимизатор»
Основной фокус внимания	Основные категории активов	Система	Ценность	Информация
Ключевой сегмент деятельности	Генерация	Передача/ распределение	Распределение/взаимоотношения с потребителем	Взаимоотношения с потребителем
Критерии выбора	Вынуждены осуществлять деятельность, если существуют специфические активы или недостаток поставки электрической энергии	Будут осуществлять вне зависимости от основной роли	Должны осуществлять в зависимости от основной роли	Могут осуществлять по мере развития соответствующей бизнес-модели
Сферы основного внимания	Обеспечение соответствия активов требованиям рынка; достижение баланса между номинальными и основанными на активах транзакциями	Обеспечение взаимосвязанности сети с другими владельцами сетей; расширение внедрения технологий и/или оборудования в сегменте сетей	Увеличение ценности сети для всех участников; использование технологий для повышения отдачи от системы и вовлечения потребителей	Повышение степени использования технологий на стороне потребителя; более тесное взаимодействие с потребителем через глубокую аналитику данных

По мнению PwC [5], в ближайшем будущем нельзя ожидать доминирования какой-то конкретной бизнес-модели – скорее, в энергетическом секторе будет одновременно существовать несколько различных типов в зависимости от степени и характера интеграции и взаимодействия с нетрадиционными игроками (рис. 4.16).

[11] В рамках формирующейся парадигмы сохранение монопольного положения отдельных игроков энергетического сектора выглядит маловероятным.

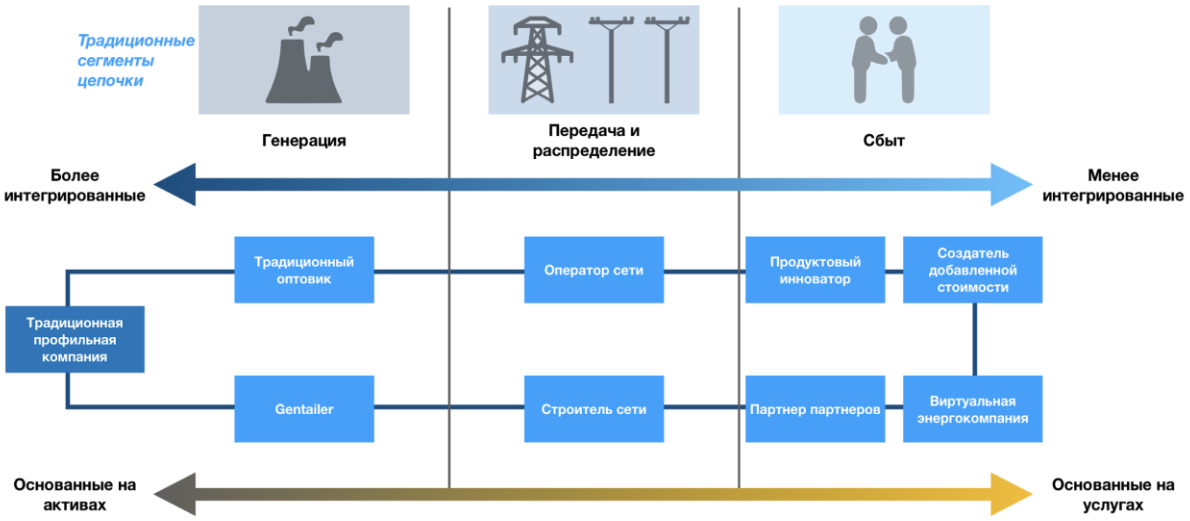

Рис. 4.16. Возможный спектр бизнес-моделей энергетических компаний
(адаптировано из [5])

Альтернативные бизнес-модели будут существенно отличаться от того, как на протяжении длительного периода времени функционировала традиционная профильная компания, объединяющая в себя все три ключевых сегмента: генерацию, сети и сбыт. Само будущее традиционной модели находится под вопросом по причине масштабного распространения технологий распределенной генерации и накопления, а также повышения вовлеченности потребителя. В рамках традиционной модели наличие физических активов и интеграции рассматривалось как преимущество, позволяющее достигать экономии от масштаба и упрощения доступа к электрической энергии конечным потребителям. По мере государственной поддержки конкуренции многие сегменты становятся более открытыми для входа новых игроков.

Также в рамках традиционной модели модель выручки была простой – она, по сути, представляла собой возврат на инвестированный капитал. В возникающих бизнес-моделях, несмотря на высокую вероятность того, что в отдельных сегментах подобная практика сохранится, ожидается, что существенно больше внимания будет уделяться повышению маржи, а не сокращению издержек.

В табл. 4.2 приведены основные элементы современных бизнес-моделей энергетических компаний в рамках ИЭС.

Приведенные в таблице бизнес-модели являются ответом на вызовы, возникающие в настоящее время в энергетической системе. Как видно из столбца «Основной сегмент деятельности», многие модели предполагают высокую степень концентрации на отдельном сегменте энергетического сектора и предоставление специфических услуг, которые недоступны в продуктовых портфелях традиционных участников.

Для дальнейшего анализа бизнес-моделей энергетических компаний рынка электроэнергии будет использоваться метод М. Джонсона

и Кл. Кристенсена, который включает инновационную составляющую. Согласно данной модели, бизнес-модель состоит из четырех взаимосвязанных элементов, которые вместе создают ценность. Инновационный процесс может проходить как в одной из составляющих, так и в нескольких одновременно (табл. 4.3).

Таблица 4.2

Основные элементы современных бизнес-моделей энергетических компаний в рамках ИЭС (заимствовано из [5])

Бизнес-модель	Основной фокус	Основной сегмент деятельности	Основа прибыли
Традиционная профильная компания	Активы; потребители	Генерация; передача и распределение; сбыт	ROIC
Gentailer	Активы; потребители	Генерация; сбыт	Конкурентная маржа
Традиционный оптовик	Активы	Генерация	Конкурентная маржа
Строитель сети	Активы	Передача	Регулируемый ROIC
Оператор сети	Активы	Передача; распределение	Регулируемый ROIC
Продуктовый инноватор	Потребители	Сбыт	Конкурентная маржа
Партнер партнеров	Потребители	Сбыт	Конкурентная маржа
Создатель добавленной стоимости	Потребители	Сбыт	Конкурентная маржа
Виртуальная энергокомпания	Потребители	Распределение; сбыт	Конкурентная маржа

Таблица 4.3

Компоненты бизнес-модели (адаптировано из [215])

Категория	Описание
Потребительская ценность продукта	Поиск способа создания ценности для клиента, помощь в удовлетворении потребности потребителя
Формула прибыли	Создание плана, который определит, как компания будет создавать ценность для себя. Включает: доход, структуру затрат, маржинальную прибыль, запасы ресурсов
Ключевые ресурсы	Акцент на ресурсы (персонал, технологии, услуги, оборудование и др.), которые создают ценность для потребителя, конкурентные преимущества
Ключевые процессы	Операционные и управленческие процессы, которые позволяют доставлять ценность наиболее эффективным способом и могут позволить увеличить масштабы деятельности без дополнительных затрат

Рассмотрим представленные в табл. 4.2 модели подробнее.

Модель «Gentailer»

Данная бизнес-модель (англ. generation + retailer = gentailer) подразумевает осуществление деятельности в двух сегментах энергетического сектора: генерация и сбыт на конкурентном рынке. *Gentailer* платит сетевой тариф операторам, а также покупает и продает электрическую энергию на спот-рынке для покрытия разрыва между спросом и предложением в определенный момент времени (рис. 4.17).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– электрическая энергия по конкурентоспособному тарифу	Доходы: – поступления от оптовых продаж; – выручка от розничных продаж. Издержки: – затраты на создание и поддержание работоспособности генерирующих мощностей; – оплата сетевого тарифа
Ключевые ресурсы и ключевые процессы – генерация электрической энергии; – сбыт	

Рис. 4.17. Бизнес-модель «Gentailer» схематично (составлено на основании [5])

Основным риском данной бизнес-модели является потенциальная вероятность установки потребителями собственных (распределенных) генерирующих установок и снижения покупки электрической энергии.

Подобная модель наиболее широко распространена на рынках, где функционирует конкурентный сегмент генерации, а сетевые компании функционируют в формате регулируемых монополий (Россия, Австралия, Великобритания, Новая Зеландия).

Ключевыми способностями *Gentailer* в сегменте генерации являются:

− знание характера спроса и рынка (рыночная экспертиза);

− управление проектами (строительство генерирующих мощностей);

− финансирование проектов (собственные и заемные средства);

− управление активами (генерирующие мощности).

При планировании расширения генерирующих мощностей такой игрок полагается на собственное знание рынка – он самостоятельно способен определить наиболее конкурентоспособную технологию генерации на основании анализа топливных рынков, операционных ограничений и предпочтений потребителей.

Ключевые способности *Gentailer* в сегменте сбыта:

− торговля электрической энергией (знание и понимание рыночных тенденций и механизмов);

− хеджирование торгов (в случае продажи электрической энергии на бирже);

– развитие продукта;
– ценообразование;
– приобретение клиентов и управление взаимоотношениями с ними.

Рыночные способности позволяют *Gentailer* успешно приобретать и сохранять потребителей, одновременно обеспечивая высокую маржинальность деятельности.

Однако постоянная трансформация внешней среды и изменение требований потребителей вынуждают подстраивать данную бизнес-модель таким образом, чтобы обеспечить выживаемость *Gentailer* по крайней мере в среднесрочном периоде (рис. 4.18).

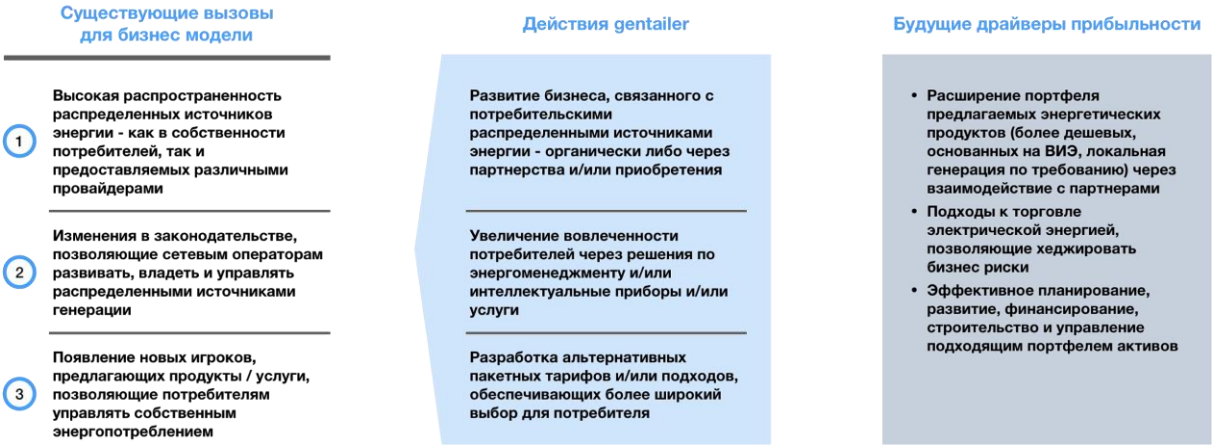

Рис. 4.18. Способы сохранения потоков прибыли и выживания Gentailer в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Мониторинг и понимания возможностей, которые получают различные потребительские сегменты путем использования технологий, позволят *Gentailer* встроить их в потребительское предложение в виде ПО/устройства либо соответствующего тарифа. Поиск потенциальных партнеров по развитию распределенных источников генерации позволит предлагать потребителю пакет услуг, включающий как само оборудование, так и привлекательный для них механизм взаиморасчетов и тариф.

Критически важным аспектом является принятие решения «делай/покупай» – необходимо определить, какой из этих вариантов более уместен, принимая во внимание существующую базу активов и инвестиционные планы. Это позволит понять, какой пакет продуктов и/или услуг *Gentailer* сможет предлагать своим потребителям.

Модель «Традиционный оптовик»

Традиционный оптовик владеет и управляет генерирующими активами, и продает электрическую энергию на конкурентном оптовом рынке по установленной рынком цене либо в рамках двусторонних контрактов с другими генераторами или крупными потребителями. Такой игрок занимает достаточно узкий сегмент цепочки создания ценности и конкурирует на наиболее рискованном рынке.

Расширение активов осуществляется путем привлечения капитала инвесторов, которые действуют в спекулятивных целях; в рамках предварительных договоров; либо через покупку генерирующих мощностей других генераторов.

Оптовики традиционно обеспечивают базовый, а также пиковый спрос (за счет традиционных газовых установок), что позволяет им параллельно участвовать в рынке системных услуг. Тем не менее, по мере распространения ВЭС и солнечных установок большой емкости, бизнес-модель оптовиков (рис. 4.19) становится менее устойчивой.

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– компания обеспечивает базовый спрос потребителей; – компания покрывает пиковый спрос	Доходы: – выручка от оптовых продаж (биржа и двухсторонние контракты). Издержки: – затраты на управление и поддержание работоспособности генерирующих активов
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– генерация электрической энергии (традиционные и быстро реагирующие); – поддержание двухсторонних контрактов с крупными потребителями	

Рис. 4.19. Бизнес-модель традиционного оптовика
(составлено авторами на основании [5])

Традиционный оптовик обычно предпочитает функционировать на активных рынках с возрастающими и/или пиковыми оптовыми ценами и высокой ценовой волатильностью (Россия; дерегулированные штаты США – Техас, Калифорния, Новая Англия; Чили). Зоны с дешевым сырьем обычно не рассматриваются оптовиком в качестве привлекательных, поскольку они не позволяют получать большой спред на низко волатильном оптовом рынке.

Ключевые способности традиционного оптовика:

− понимание спроса и предложения на оптовом рынке;

− навыки управления проектами (строительство генерирующих мощностей – включая вопросы привлечения финансирования);

− эффективное управление активами;

− хеджирование рисков;

− способность выполнять сложные контракты на покупку и продажу электрической энергии (включая использование деривативов).

По мере входа в оптовый сегмент игроков, генерирующих на ВИЭ, хеджирование риска усложняется – рыночные цены становятся более волатильными. Поэтому стратегия оптовика должна быть гибкой и адаптивной (рис. 4.20).

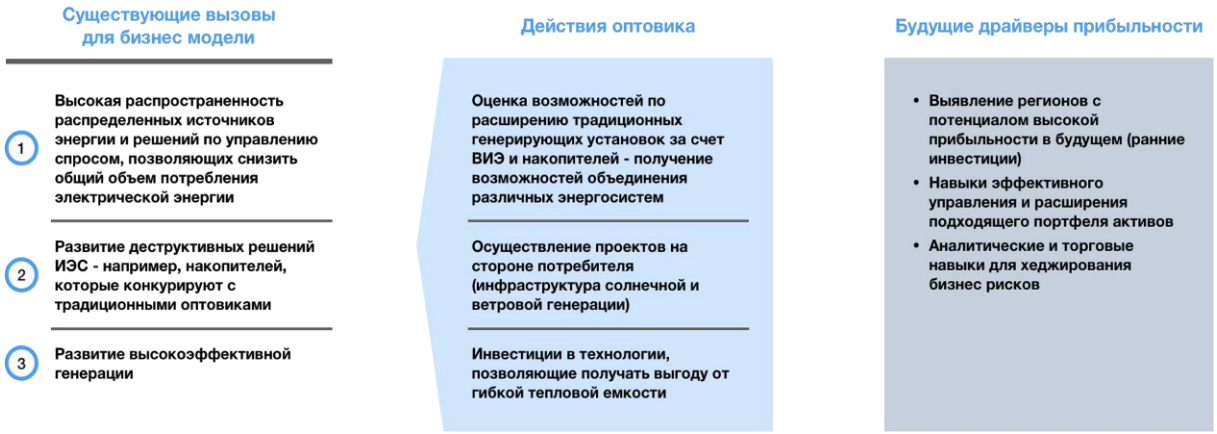

Рис. 4.20. Способы сохранения потоков прибыли и выживания традиционного оптовика в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Учитывая имеющиеся способности, традиционному оптовику целесообразно сфокусироваться на вопросах эффективности и получении выгод от имеющегося масштаба. Необходимо создавать сбалансированный портфель генерирующих активов – либо с точки зрения технологий, либо с точки зрения рынков. Важным направлением действий является изучение возможностей включения альтернативных продуктов в портфель активов для защиты от возможных сдвигов рынка.

Модель «Строитель сети»

Компания, применяющая бизнес-модель строителя сети, приобретает, развивает/строит, владеет и управляет сетями передачи, соединяющими генераторов и операторов распределительных сетей. В большинстве случаев эта модель предполагает естественную монополию, хотя возможны и ситуации, когда в рамках одного рынка одновременно функционируют несколько строителей сети. Некоторые компании строят линии для подключения ВИЭ-генерации к центрам нагрузки, в то время как другие также управляют сетями и сопутствующей инфраструктурой, уже существующей много лет.

Если строитель сети функционирует на оптовом рынке электрической энергии, он должен обеспечивать стабильность энергетической системы в режиме реального времени и координировать поставку электрической энергии для предотвращения дисбалансов или перебоев поставок.

Строители сети должны на постоянной основе оценивать способность собственной сети адекватно соответствовать текущим и будущим требованиям и планировать эффективное ее обновление. Подобный процесс обычно регулируется государством и включает различные стимулирующие механизмы.

Вне зависимости от того, занимается ли строитель сети постройкой или управлением существующими сетями в сотрудничестве с владельцем распределительных сетей, необходимо обеспечивать координацию и поддержку региональной энергетической системы.

Схематично бизнес-модель строителя сети можно представить следующим образом (рис. 4.21).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– осуществление передачи электрической энергии от точки генерации в точку спроса (оптовый клиент/местная распределительная сеть)	Доходы: – тариф за передачу. Издержки: – затраты на развитие и управление сетями передач
Ключевые ресурсы и ключевые процессы – передача электрической энергии; – поддержание работоспособности сети; – модернизация и строительство сети	

Рис. 4.21. Бизнес-модель строителя сети (составлено авторами на основании [5])

Строитель сети обычно формируется законодательным образом в зонах с уже существующей инфраструктурой. Примерами подобных компаний могут служить операторы сетей передачи в Европе, «Россети» в России, независимые системные операторы в США. Подобные компании также могут формироваться в зонах, где недостает существующей инфраструктуры – существует необходимость расширения канала передачи электрической энергии от точек генерации к центру нагрузки.

К примеру, строитель сети может быть создан для строительства и управления сетями передачи между удаленными объектами генерации (ГЭС/ВЭС) и удаленным центром спроса (отдельный населенный пункт в сельской местности).

Ключевыми способностями подобного игрока являются:

− навыки проектирования, управления и эксплуатации высоковольтных линий электропередач и сопутствующей инфраструктуры;

− навыки управления балансом спроса и предложения на оптовом рынке электроэнергии в режиме реального времени;

− обеспечение соблюдения стандартов надежности поставок электрической энергии;

− взаимодействие с местными органами власти, владельцами земельных участков, потребителями, поставщиками оборудования;

− навыки установления тесных взаимоотношений с инвесторами и партнерами по СП (получение дешевых кредитов и установление сложных механизмов владения создаваемыми активами).

Ключевым риском для этой бизнес-модели является распространение удаленной генерации и формирование потоков передачи электрической энергии на уровне распределительных сетей. Также увеличивается количество точек подключения, что усложняет процесс управления правами и обязанностями вовлеченных участников (рис. 4.22).

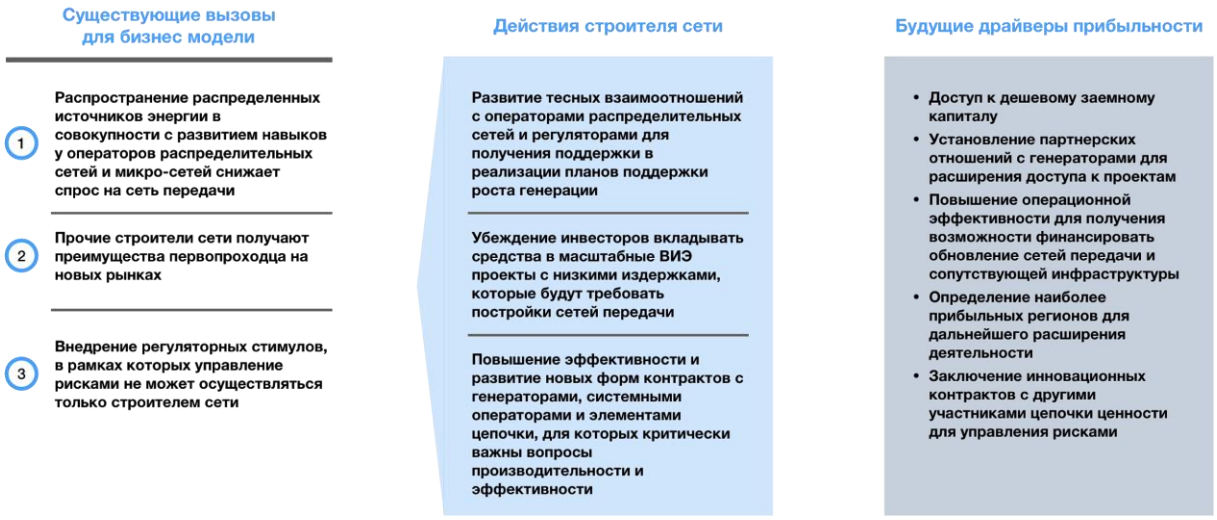

Рис. 4.22. Способы сохранения потоков прибыли и выживания строителя сети в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Для обеспечения выживания компаниям, применяющим данную бизнес-модель, необходимо уделять внимание поиску новых зон (как в рамках текущего, так и в рамках новых рынков), в которых планируется строительство новых крупных объектов генерации и которым может понадобиться соответствующая сетевая инфраструктура. Привлекательным направлением является работа с альтернативными классами владельцев (например, финансовыми спонсорами) с тем, чтобы иметь возможность получать выгодную позицию в условиях, когда будут достаточно развиты протоколы альтернативной передачи электрической энергии.

Одновременно стоит уделять внимание вопросам эффективности и снижения издержек, связанных с эксплуатацией сетевой инфраструктуры – к примеру, за счет оптимизации базовых процессов.

Модель «Оператор сети»

Оператор сети осуществляет эксплуатацию сетей передачи и распределения и предоставляет доступ к этим сетям генераторам и поставщикам розничных сервисов. Как и многие традиционные строители сети, операторы сети достаточно часто функционируют в форме естественных монополий. Они точно так же ответственны за мониторинг сети в режиме реального времени и предотвращение дисбалансов и перебоев поставок электрической энергии.

Новая роль для операторов сетей возникает в области независимого управления сетью – объединения традиционных систем и распределенных источников энергии. Подобная возможность позволяет оператору сети управлять всеми взаимодействиями между местными энергетическими системами, а также связью с традиционной сетью.

Операторы сети обычно распространены в тех регионах, где генерация и сбыт конкурентные, а сеть функционирует в модели естественной

монополии (Россия, Австралия, Великобритания, Новая Зеландия). По оценкам PwC [5], в рамках распространения распределенной генерации и микросетей эта бизнес-модель (рис. 4.23) станет еще более актуальной.

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– осуществление передачи электрической энергии от точки генерации в точку спроса (оптовый клиент/местная распределительная сеть)	Доходы: – тариф за передачу. Издержки: – затраты на эксплуатацию сетей передачи и распределения
Ключевые ресурсы и ключевые процессы – передача электрической энергии; – поддержание работоспособности сети; – модернизация сети	

Рис. 4.23. Бизнес-модель оператора сети (составлено авторами на основании [5])

С точки зрения состава ключевых способностей, оператор сети похож на строителя сети. Его отличают глубокие навыки проектирования, строительства и эксплуатации электрических сетей; умение балансировать спрос и предложение в режиме реального времени; способность интегрировать электрическую энергию из различных источников генерации.

Главным отличием является фокусирование внимания на управлении существующей инфраструктурой, что позволяет накапливать навыки в области сбора и анализа данных, создаваемых в рамках сети. На основании собранных данных появляется возможность оптимизации и повышения производительности существующих активов.

Технической основой подобных действий является внедрение различных технологий ИЭС, которые отвечают за мониторинг и сбор данных в отношении работы электрической сети и позволяют проводить анализ характера потоков электрической энергии, предотвращать выход из строя критического оборудования и снижения износа активов.

Главным риском этой бизнес-модели является распространение распределенных источников энергии и микросетей, которые снижают необходимость в наличии единого сетевого оператора (рис. 4.24).

Одним из ключевых способов сохранения конкурентоспособности оператора сети является развитие этой сети и внедрение различных технологий ИЭС. Необходимо переходить к следующему уровню управления сетью – основанному на аналитике работы сети, предотвращении аварий и выхода оборудования из строя.

Привлекательным направлением является интеграция различных распределенных энергетических ресурсов (накопители, микросети, распределенная генерация, электромобили) в единую сеть и управление возникающими сетевыми эффектами. Принимая во внимание привлекательность

данного направления, существует большая вероятность получения соответствующей поддержки со стороны государства – как нормативно-правовой, так и финансовой.

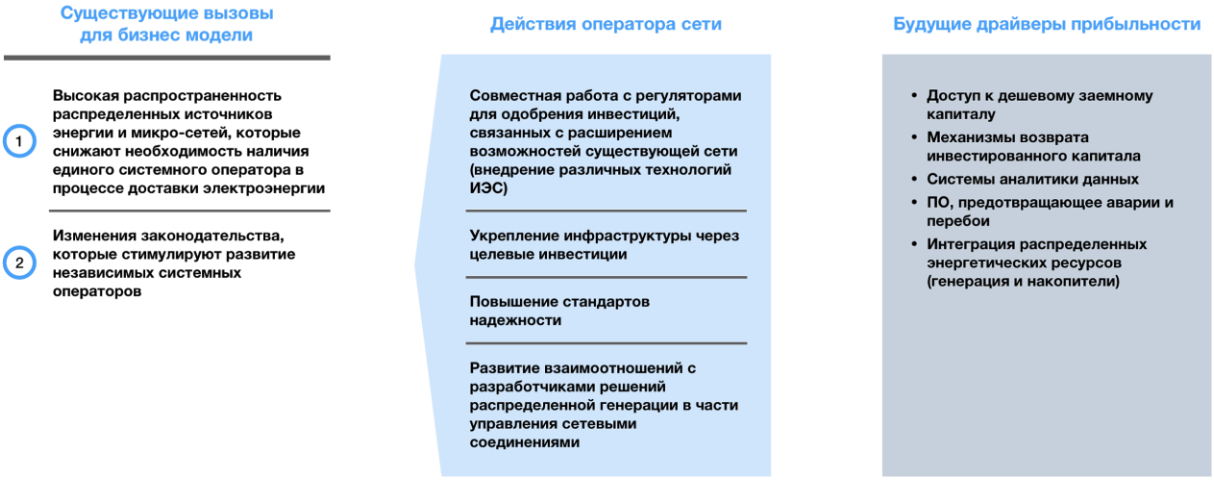

Рис. 4.24. Способы сохранения потоков прибыли и выживания оператора сети в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Модель «Продуктовый инноватор»

Продуктовым инноватором является компания, которая помимо поставки электрической энергии предлагает потребителю дополнительные продукты. Эта бизнес-модель фокусируется на расширении роли сбытовой компании и изменении потребительских предпочтений. Под продуктом в данном случае понимается определенный «пакет» сбытовых услуг (предоставление различных продуктовых наборов «чистой энергии»; тарифов, предоставляющих потребителю больше гибкости; устройств, позволяющих контролировать и управлять собственным потреблением). Продуктовый инноватор получает выгоду в виде информации в отношении паттернов потребления своих клиентов и их влияния на общую стабильность системы (рис. 4.25).

Потребительская ценность
– возможность поставки электрической энергии;
– возможность контролировать и управлять потреблением (оборудование + соответствующий тариф)

Формула прибыли
Доходы:
– оплата выбранного пакета услуг со стороны потребителя.
Издержки:
– затраты на управление сбытом и «пакетом» сбытовых услуг

Ключевые ресурсы и ключевые процессы
– поставка электрической энергии;
– анализ полученной от потребителя информации

Рис. 4.25. Бизнес-модель продуктового инноватора
(составлено авторами на основании [5])

Данная бизнес-модель наиболее актуальна на рынках, где у потребителей существует возможность выбора поставщика электрической энергии, а уровень принятия ими новых технологий достаточно высок. Также привлекательными являются рынки с высоким уровнем проникновения распределенных источников энергии – там продуктовый инноватор сможет предложить комплементарные продукты (например, устройства автоматизации потребления электрической энергии «из сети или из собственной энергоустановки»).

Ключевыми способностями продуктового инноватора являются:

– способность приобретать и удерживать потребителей;

– способность осуществлять кросс-продажи (комплементарные продукты и услуги).

Главным вызовом для этой бизнес-модели является возможность поддержания конкурентоспособной маржинальности: необходимо заручиться поддержкой со стороны поставщиков электрической энергии, которые будут готовы осуществлять поставки по приемлемым ценам, а также со стороны поставщиков различного интеллектуального оборудования и систем, которые и создают основную долю добавленной стоимости для потребителя (рис. 4.26).

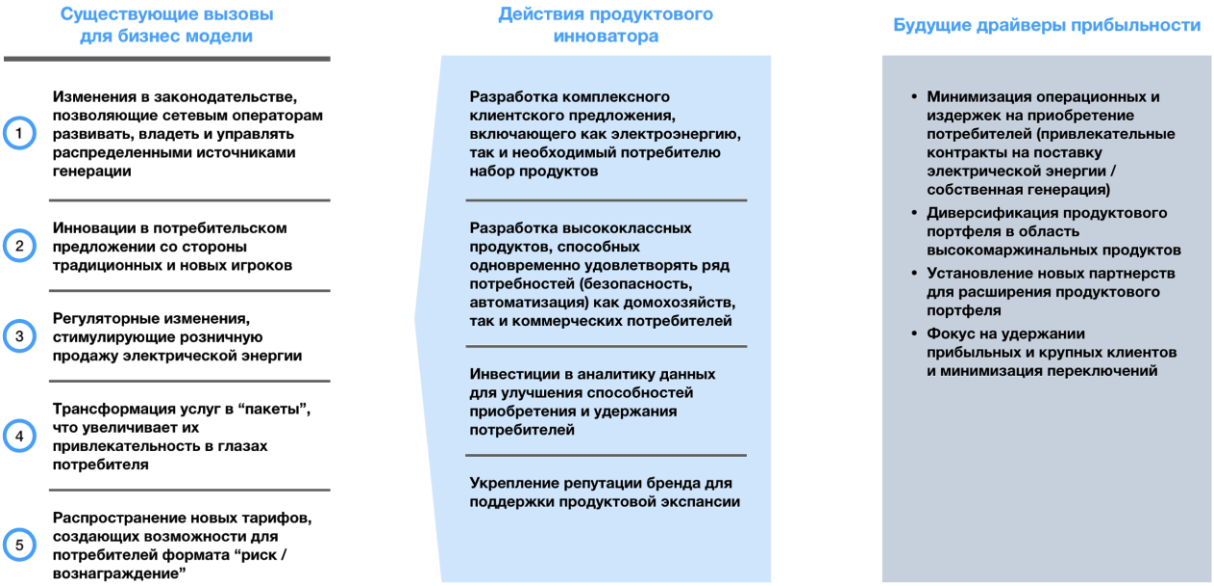

Рис. 4.26. Способы сохранения потоков прибыли и выживания продуктового инноватора в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Успех деятельности продуктового инноватора будет зависеть от его знаний потребителя, навыков развития продукта, управления каналами ценообразования и комбинации продуктов. Ему также понадобится продуманная аналитика данных и знания о покупательских предпочтениях, чтобы выводить на рынок правильное предложение.

Немаловажным аспектом также станет ценность бренда компании – необходимо понимать, есть ли возможность его увеличения через установление партнерских отношений с поставщиками отдельных продуктов либо через выделение для этих целей отдельного бизнес-подразделения. По мнению PwC [5], компании будут склонны вступать в партнерства с поставщиками интеллектуальных устройств с других рынков (например, Google Nest[12]) с тем, чтобы иметь возможность функционировать в высоко маржинальном сегменте создания ценности, а не конкуренции по цене.

Модель «Партнер партнеров»

«Партнер партнеров» – это компания, которая предлагает не только стандартный продукт (электрическую энергию или электрическую энергию и газ – как в США) и сопутствующие услуги, но и ряд прочих услуг (начиная от замены аккумуляторных батарей в накопителях по мере их износа, услуги по координации установки различных устройств у потребителя и заканчивая управлением процессом выдачи излишков электрической энергии обратно в сеть). Подобные услуги могут поставляться либо самой компанией, либо, что более вероятно, через партнерство с другими поставщиками услуг и продуктов, имеющих хорошую репутацию на рынке (OPowel, Honeywell, ABB, Siemens, GE, Tesla, Solar City).

Схематично данную бизнес-модель можно представить следующим образом (рис. 4.27).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– пакет услуг, включающий электрическую энергию и сопутствующие продукты и услуги, облегчающие жизнь потребителю	Доходы: – оплата выбранного потребителем пакета услуг. Издержки: – затраты на развитие и управление пакета услуг
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– взаимодействие с партнерами в рамках предоставления потребителю дополнительной ценности	

Рис. 4.27. Бизнес-модель партнера партнеров (составлено авторами на основании [5])

Бизнес-модель партнера партнеров наиболее актуальна на рынках с высокой степенью распространения энергетических технологий и потребительского выбора. Немаловажным условием также является желание потребителей облегчить свою жизнь при одновременном снижении стоимости первоначальных вложений.

Рынки с высоким уровнем распространения распределенных источников энергии являются привлекательными для данной бизнес-модели, по-

[12] В данном случае имеется в виду один продукт компании – термостат, позволяющий в автоматическом режиме регулировать температуру в помещении, тем самым снижая общее потребление электрической энергии потребителя (https://nest.com/thermostats/).

скольку на них появляется возможность объединить различные услуги в простой и понятный для потребителя пакет. Одним из ярких примеров подобной бизнес-модели является компания NRG Energy (США).

Ключевыми способностями в рамках данной бизнес-модели являются:

– способность приобретать потребителей;

– умение предоставлять высококачественный сервис (по сравнению с традиционными сбытовыми организациями);

– способность извлекать из взаимодействия с потребителями данные, необходимые для поддержания высокого уровня сервиса;

– способность устанавливать взаимовыгодные отношения с бизнес-партнерами.

Главными барьерами для реализации модели партнера партнеров являются: выбор приемлемого бренда для выхода на рынок; способность преодолеть скептицизм потребителей в отношении качества сервиса, который может предложить «энергосбытовая компания» (рис. 4.28).

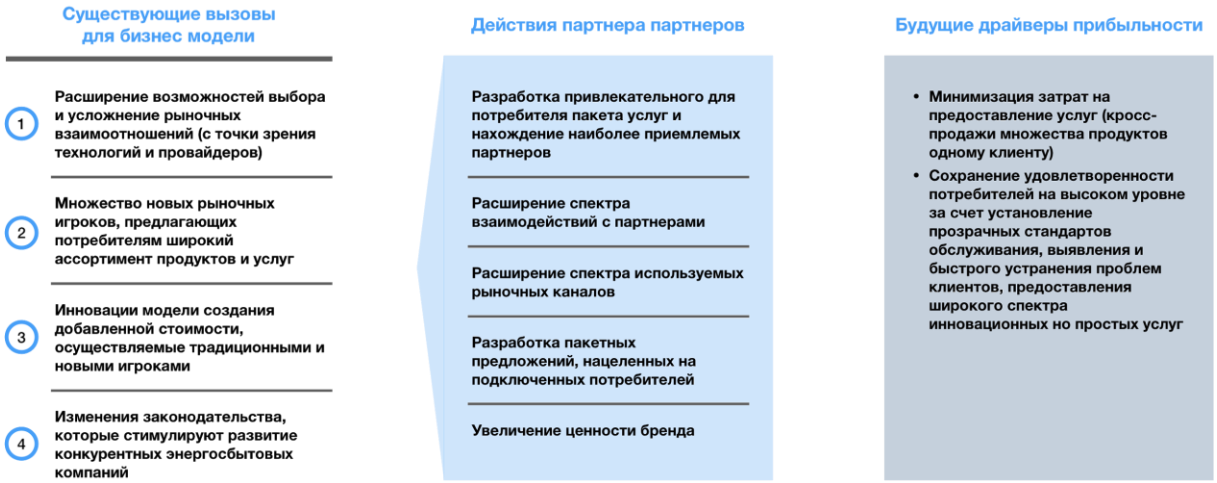

Рис. 4.28. Способы сохранения потоков прибыли и выживания партнера партнеров в условиях трансформации энергетического сектора (заимствовано из [5])

Оценка ценности бренда позволит выявить существующие ограничения и необходимость формирования инновационных партнерств. Важным компонентом успешности данной бизнес-модели являются инвестиции в аналитику данных, которая позволит выявить потребительские предпочтения и оценить эластичность спроса. Идентификация потенциальных партнеров с комплементарными технологиями, продуктами и/или услугами позволит создать необходимую добавленную стоимость, а понимание влияния новых продуктов и услуг на переключение потребителей станет основой для формирования долгосрочных целей роста.

Модель «Создатель добавленной стоимости»

Создатель добавленной стоимости использует свои информационные способности для расширения той роли, которую энергетическая компания

может выполнять для своих потребителей. В то время как потребители нацелены на повышение контроля над собственным энергопотреблением или получение больших возможностей в выборе сбытовой организации, они не всегда готовы быть активным участником принятия решения по поводу собственных паттернов потребления. Многие потребители характеризуются инерцией – они не очень легко адаптируются к наличию выбора или принимают на себя роль тиражирования предпочтений в отношении потребляемых услуг.

Это и представляет собой сегмент, где существующий игрок может выполнять ценную роль, которая не под силу другим участникам отрасли. Энергетические компании собирают и управляют огромными массивами данных из двух ключевых источников – управление сетью и потребительская нагрузка. Эти данные позволяют выявлять паттерны спроса, что важно, но недоступно для конечных потребителей. Таким образом, энергетическая компания может стать энергетическим менеджером для своих клиентов – учитывая то количество данных, которым она обладает, а также нежелание потребителей выполнять эту роль самостоятельно. Схематично бизнес-модель создателя добавленной стоимости приведена на рис. 4.29.

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– пакет услуг, включающий электрическую энергию и возможность управлять ее потреблением	Доходы: – оплата услуг в рамках заключенного с потребителем договора. Издержки: – обработка и сбор больших массивов данных
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– сбор и анализ данных в отношении функционирования сети и потребления электрической энергии	

Рис. 4.29. Бизнес-модель создателя добавленной стоимости
(составлено авторами на основании [5])

Энергетические компании и ранее выполняли роль создателя добавленной стоимости – особенно в части программ энергоэффективности или проектов по энергоменеджменту. Тем не менее, учитывая объемы и детализацию информации, создаваемую в рамках сети, в настоящее время ширина и глубина подобных действий существенно расширилась. К примеру, производители вроде Honeywell (США) и Mitsubishi (Япония) фокусируются на отдельных сегментах контроля энергопотребления (интеллектуальные мониторы энергопотребления и термостаты). Другие компании (например, Google) предоставляют потребителю услугу в формате «установи и забудь», одновременно используя собираемые данные для анализа данных о потреблении в режиме реального времени и построения прогнозов спроса.

Данный сегмент достаточно открыт для энергетических компаний (в особенности с точки зрения законодательства, которое часто препятствует передаче информации третьим лицам) – они могут выступать в роли партнеров для поставщиков соответствующих специализированных решений.

Ключевыми способностями в рамках бизнес-модели создателя добавленной стоимости являются:

– способность собирать и обрабатывать огромные массивы данных, генерируемых в рамках системы;

– способность оперативно разрабатывать рекомендации потребителям в отношении энергопотребления;

– способность обучать потребителей управлять собственным потреблением электрической энергии;

– способность явно демонстрировать ценность, создаваемую на основании собранных данных с тем, чтобы потребители выбирали услуги данной компании, а не стороннего провайдера.

Критически важным аспектом успеха данной бизнес-модели является способность обеспечивать безопасность сбора, обработки и хранения пользовательских данных.

Успешность реализации бизнес-модели создателя добавленной стоимости также зависит от способности компании противостоять ряду внешних угроз (рис. 4.30).

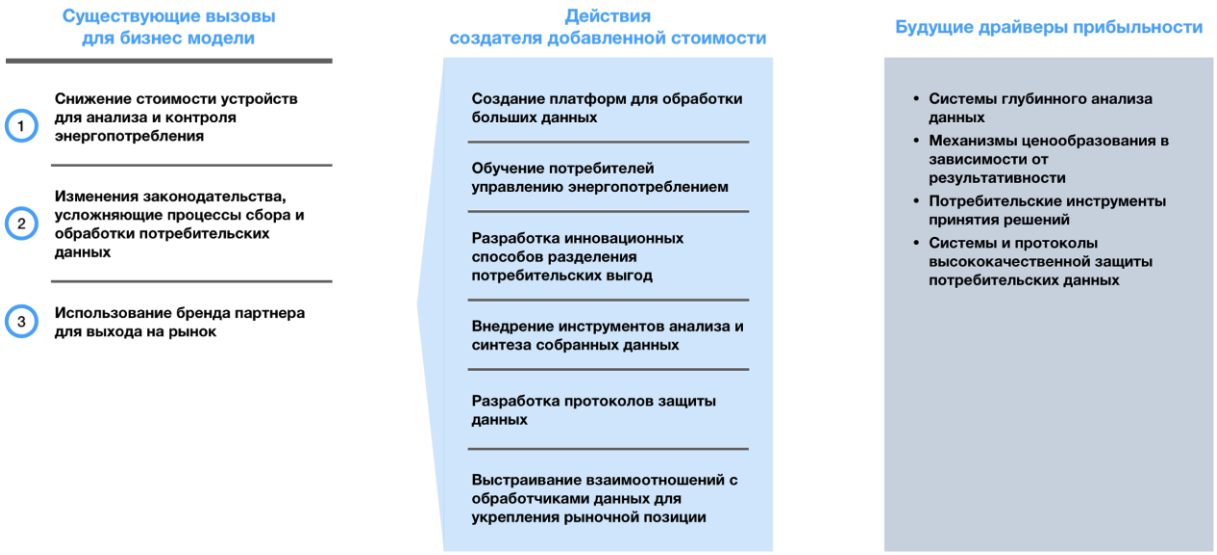

Рис. 4.30. Способы сохранения потоков прибыли и выживания создателя добавленной стоимости в условиях трансформации энергетического сектора
(заимствовано из [5])

Главной задачей в рамках реализации модели создателя добавленной стоимости является вычленение этой стоимости из собранных данных. Это требует, с одной стороны, существенных инвестиций в соответствующее оборудование и ПО, а с другой – тесного взаимодействия с конечными по-

требителями и активизации их роли в этом процессе. Одновременно необходимо уделять внимание законодательным вопросам в части сбора, анализа и обработки данных, а также выстраиванию взаимоотношений с соответствующими поставщиками инновационных решений.

Модель «Виртуальная энергокомпания»

Виртуальная энергокомпания может агрегировать генерацию из различных распределенных систем и выступать в роли посредника между различными энергетическими рынками. Она также может выступать интегратором для поставщиков нетрадиционных услуг. В рамках данной бизнес-модели компания не владеет ресурсами, а осуществляет интеграцию услуг от лица поставщика, сбытовой компании или генератора.

Основным вниманием компаний, применяющих данную бизнес-модель, является оптимизация источников энергоресурсов с точки зрения их стоимости, надежности и соответствия потребительским предпочтениям; а также управление распределительной системой. Виртуальная энергокомпания также может принимать на себя функции управления спросом, различными энергопринимающими устройствами коммерческих потребителей и домохозяйств (с целью устранения дисбалансов в системе) – причем подобная деятельность может осуществляться либо посредством оптового рынка, либо через договоренности с операторами сетей передачи и распределения. Схематично бизнес-модель виртуальной энергокомпании приведена на рис. 4.31.

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– предоставление возможностей для взаимодействия различных рыночных игроков, которое сложно реализуется в рамках традиционной цепочки	Доходы: – оплата услуг в рамках заключенных договоров. Издержки: – затраты на интеграцию различных услуг
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– облегчение взаимодействия различных участников рынка	

Рис. 4.31. Бизнес-модель виртуальной энергокомпании
(составлено авторами на основании [5])

Наиболее привлекательными для виртуальных энергокомпаний являются те рынки, на которых сформирована широкая сеть генерации местного уровня (установки, подключенные к местным распределительным сетям) – Германия, Гавайи (США), Калифорния (США); где законодательно сформирована возможность выбора для потребителей (Нью-Йорк (США), Техас (США), Великобритания, Австралия). Не менее привлекательными для реализации данной бизнес-модели являются различные островные и удаленные энергетические системы.

В рамках реализации этой бизнес-модели компании могут также комбинировать распределенную генерацию с собственными генерирующими установками (при их наличии), одновременно открывая путь на рынок для независимых генераторов и расширяя собственный портфель активов.

Ключевыми способностями виртуальной энергокомпании являются:

– эффективная комбинация энергетических ресурсов;

– способность успешно взаимодействовать с местными распределительными сетями;

– навыки балансирования спроса и предложения в режиме реального времени;

– управление вовлеченностью потребителей.

В рамках данной бизнес-модели, помимо традиционного пакета услуг вроде надежных поставок электрической энергии по обоснованной цене, виртуальная энергокомпания может расширять свое ценностное предложение за счет устойчивости и повышенной надежности (услуги резервного энергопитания).

Для развития дополнительных способностей виртуальной энергокомпании критически важно выстраивать взаимоотношения с разработчиками, системными интеграторами, компаниями, предоставляющими услуги энергосервиса, поставщиками оборудования и ПО, а также онлайн торговыми площадками. Вызовы, стоящие перед данной категорией компаний, а также ключевые драйверы прибыльности приведены на рис. 4.32.

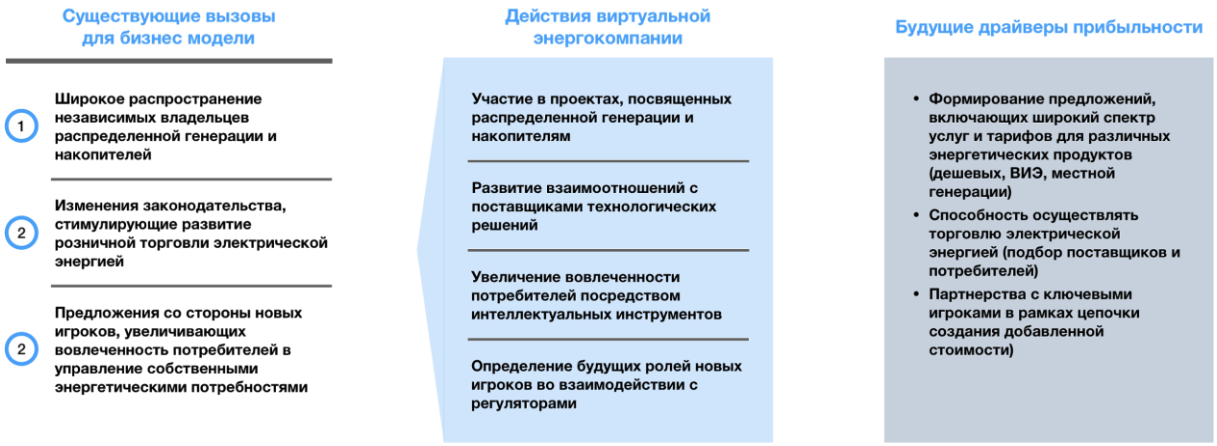

Рис. 4.32. Способы сохранения потоков прибыли и выживания виртуальной энергокомпании в условиях трансформации энергетического сектора
(заимствовано из [5])

Виртуальные энергокомпании должны разрабатывать услуги агрегации, которые будут привлекательными для владельцев малой, распределенной генерации, оптовиков и крупных генераторов. Важным элементом успешности данной бизнес-модели является способность мониторинга возникающих инновационных технологий и потенциальных партнеров с тем, чтобы получать выгоду от объединения различных комплементарных продуктов и/или услуг.

Структура тарифа на их услуги должна, с одной стороны, создавать стимулы для поставщиков электрической энергии, а с другой – формировать необходимую маржу.

На некоторых рынках особое внимание следует уделять вопросам взаимодействия с регуляторами – это позволит разрабатывать и внедрять подходящие механизмы поддержки функционирования новых услуг.

4.2.2. Трансформация бизнес-моделей энергетических компаний на розничных рынках электроэнергии.

Технологическая трансформация и либерализация электроэнергетического рынка в большинстве случаев затрагивает не только оптовый рынок электроэнергии, но и розничный. Такие изменения неизбежно приводят к появлению на последнем энергетических компаний с принципиально новыми бизнес-моделями и вынужденному добавлению старыми игроками отрасли этих новых элементов в свои устоявшиеся бизнес-модели.

Для анализа бизнес-моделей энергетических компаний розничных рынков электроэнергии будет использоваться метод М. Джонсона и Кл. Кристенсена, как и в предыдущем разделе.

Энергетические компании концентрируются на новых бизнес-моделях, либо предлагая конкретный сервис своим потребителям, либо действуя в качестве координаторов для разных поставщиков услуг. Их деятельность смещается в сторону лучшего удовлетворения потребностей все более избирательных и технологически подкованных потребителей.

Изменения в производстве и потреблении электроэнергии (распространение различных элементов *интеллектуальной энергетики*) преобразуют цепочку создания ценности отрасли, традиционно ориентированную на последовательность сверху вниз, на более децентрализованную.

Более того, структура цепочки создания ценности, которая всегда была вертикально интегрирована вокруг крупных энергетических компаний (или даже компании-монополиста), становится все более фрагментированной, тем самым уступая место новым игрокам, включая самих потребителей (рис. 4.33).

Приведенные бизнес-модели можно сгруппировать в 3 базовые категории (рис. 4.34).

1. Бизнес-модели распределенной генерации [2]

Модели *распределенной* генерации подразумевают разработку систем производства электрической энергии, расположенных непосредственно в точках потребления (как для бытовых, так и для коммерческих нужд) и подключаемых к распределительным сетям низкого или среднего напряжения.

Концепция формируется на основании тенденции частного и коммерческого секторов к установке ВИЭ и когенерационных установок. Изначально подобные решения были распространены в основном среди промышлен-

ных предприятий, но в результате существенного снижения их стоимости они стали широко применяться прочими категориями потребителей – поскольку они стали конкурентоспособны по сравнению с традиционными.

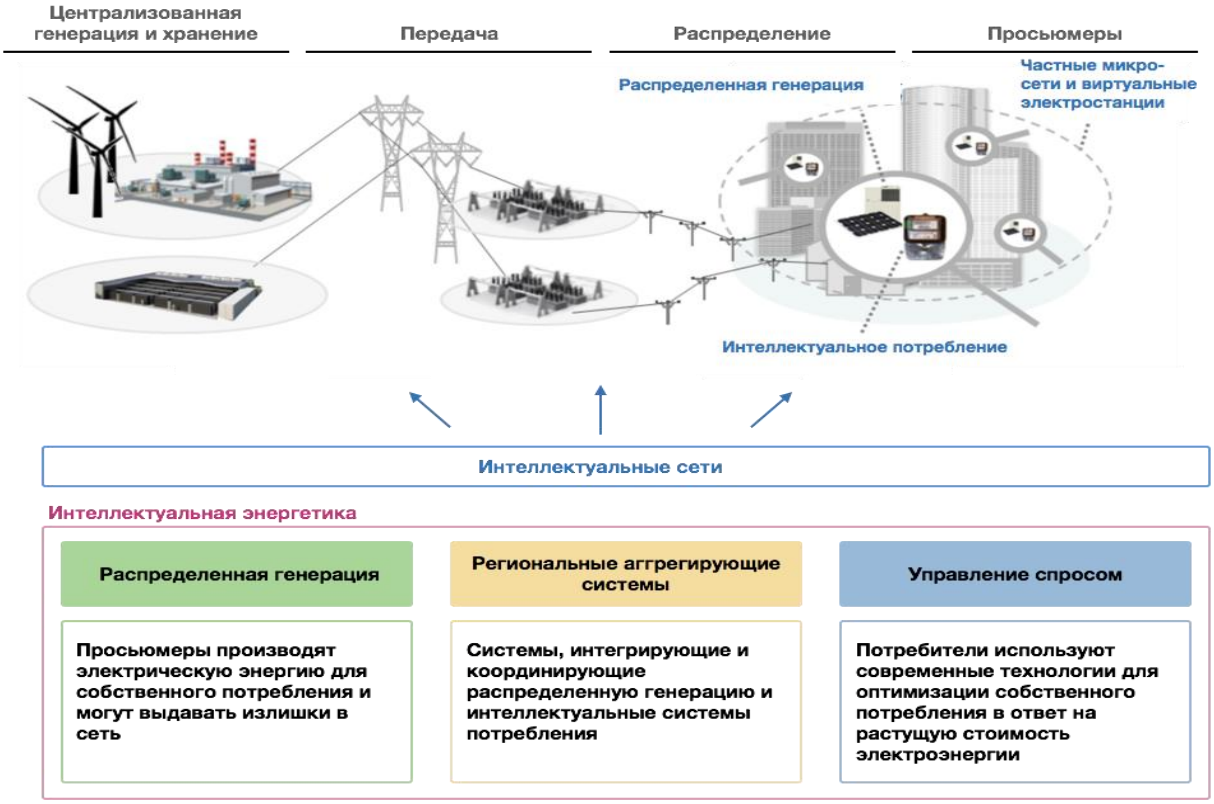

Рис. 4.33. Место интеллектуальной энергетики в цепочке создания ценности электроэнергии (заимствовано из [216])

Существенным преимуществом приведенной выше классификации бизнес-моделей является ее технологическая нейтральность – рассматриваемые модели не основаны на конкретной технологии, а, скорее, могут быть адаптированы к любой технологии распределенной генерации (даже несмотря на то, что в настоящее время среди ВИЭ доминирует 2 технологии: фотогальваника и когенерация).

Как видно из приведенной выше схемы (см. рис. 4.34), в рамках концепции распределенной генерации существуют 3 ключевые бизнес-модели (не являются взаимоисключающими, то есть могут одновременно применяться одной компанией при работе с различными потребителями):

1. *Поставка систем распределенной генерации* (просьюмеры владеют системами и принимают на себя все риски).

2. *Лизинговые услуги или соглашения о покупке мощности* (активный потребитель арендует распределенную систему генерации за плату, которая варьируется в зависимости от генерируемой мощности).

3. *Модель ренты-пространства* (заказчик сдает принадлежащую ему площадь в аренду, чтобы компания могла установить и эксплуатировать там распределенную систему генерации).

** Поставка систем распределенной генерации включает поставку дополнительного оборудования (систем хранения и решений для оптимизации генерации)*

*** Уровень усложнения оценивался в зависимости от сложности каждой бизнес-модели и ее добавленной стоимости для конечных потребителей*

Рис. 4.34. Базовые бизнес-модели энергетических компаний в интеллектуальной энергетике (заимствовано из [216])

Главными различиями между данными моделями является уровень владения активами, а также уровень риска, связанный с инвестициями в подобные системы генерации (рис. 4.35).

Рис. 4.35. Дифференциация бизнес-моделей распределенной генерации в зависимости от уровня владения активами и уровнем риска (заимствовано из [2])

Так, наименее рискованной для потребителя является модель *ренты-пространства* (потребители, в домах или зданиях которых установлены системы, не имеют никаких обязательств). При использовании модели *по-*

ставки распределенных систем генерации потребитель берет на себя все риски владения системой. Вторая модель является неким промежуточным вариантом со средним уровнем риска.

Различный уровень риска для потребителя компенсируется различным уровнем добавленной стоимости, на которую он может рассчитывать при использовании той или иной модели (рис. 4.36).

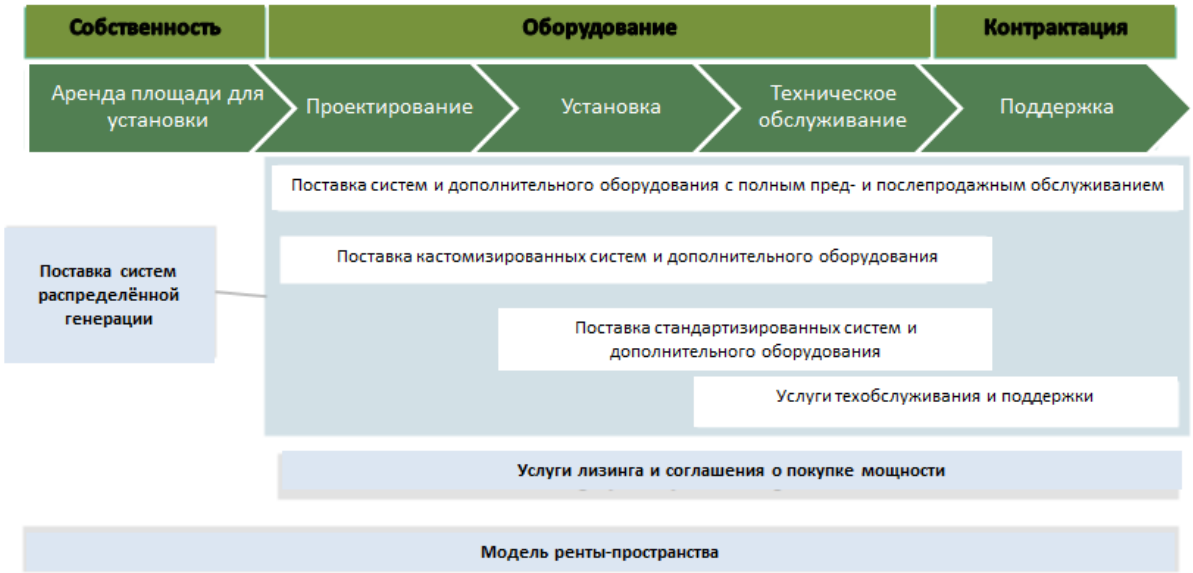

Рис. 4.36. Цепочка создания ценности бизнес-моделей распределенной генерации
(заимствовано из [216])

С одной стороны, стандартные распределенные системы генерации со стандартными сервисными услугами предлагают клиентам относительно небольшую добавленную стоимость, в то время как модель ренты-пространства охватывает каждый сегмент цепочки добавленной стоимости, обеспечивая тем самым весьма привлекательное ценовое предложение для конечных потребителей.

Поставка систем распределенной генерации

Данная бизнес-модель является традиционной и наименее сложной. Она может быть реализована в следующих вариациях (приведенные подмодели не являются взаимоисключающими):

– *продажа систем и дополнительного оборудования с полным пред- и послепродажным обслуживанием*. Модель покрывает все 4 элемента цепочки добавленной стоимости. Поставщики сначала проводят предварительное исследование, чтобы спроектировать системы в соответствии с потребностями клиентов, а затем устанавливают системы генерации. Впоследствии компании предоставляют услуги по техническому обслуживанию и поддерживают клиентов в мониторинге эффективности, предоставляя рекомендации и проводя обучение по использованию системы;

– *продажа систем и дополнительного оборудования, адаптированных к конкретным требованиям клиентов* (кастомизация предложения). Модель охватывает первые 3 компонента цепочки, описанные выше. Поставщики устанавливают специально разработанные системы для клиентов, но не осуществляют операционную поддержку. Техническое обслуживание обычно ограничивается гарантийным покрытием (которое может быть достаточно длительным – в случае, если компания принимает решение о дифференциации на рынке);

– *продажа стандартных систем и дополнительного оборудования*. Взаимодействие с клиентом носит разовый характер и продолжается до истечения гарантийного срока действия оборудования;

– *предоставление услуг по эксплуатации и техническому обслуживанию приобретенных систем*. Подобная модель нацелена на упрощение и оптимизацию использования генерирующего оборудования потребителем – без его непосредственного участия в процессе.

Схематично данную бизнес-модель можно представить в следующем виде (рис. 4.37).

Потребительская ценность
– более низкая стоимость электроэнергии по сравнению с розничным рынком;
– энергетическая автономность и/или независимость;
– возможность внести вклад в защиту окружающей среды (использование ВИЭ);
– возможность варьировать интенсивность использования энергосистемы в зависимости от собственных нужд;
– возможность получения дополнительного дохода от излишков путем их продажи на розничном рынке;
– отсутствие необходимости осуществления детальной оптимизации работы энергосистемы*

Формула прибыли
Доходы:
– доход от продажи систем, технической поддержки*, операционной поддержки*;
– субсидии по различным государственным программам.
Издержки:
– затраты на производство/закупку систем;
– затраты на поддержание их работоспособности

Ключевые ресурсы и ключевые процессы
– продажа готовых системных решений по электрогенерации;
– технологии солнечной/ветровой генерации;
– технологии хранения электроэнергии;
– технологии эффективного управления энергосистемой

***Примечание**: в схеме объединены такие элементы модели, как «ключевые ресурсы» и «ключевые процессы», поскольку в рассматриваемой технологии они неотделимы друг от друга.*

** в зависимости от выбранной подмодели*

Рис. 4.37. Бизнес-модель поставки систем распределенной генерации
(заимствовано из [2])

Лизинговые услуги или соглашения о покупке мощности

В данной модели поставщики сохраняют право собственности на распределенные системы генерации, а пользователи платят фиксированную сумму за использование системы (либо варьирующуюся – в зависимости от генерируемой мощности). Подобная модель позволяет потребителю снизить риски, связанные с владением системой.

В *договорах лизинга* физическое или юридическое лицо арендует систему распределенной генерации, а разработчики лизингового проекта устанавливают ее в здание, в которое будет поставляться электроэнергия – в обмен на фиксированный ежемесячный платеж от клиента.

В случае если система генерации не может удовлетворить потребности клиентов в электрической энергии, клиенты могут воспользоваться услугами розничного продавца электроэнергии для восполнения дефицита.

В данной бизнес-модели компании предлагают покупателям возможность приобретать электроэнергию по ценам ниже рыночных. Кроме того, в случае, если фактический объем генерации оказывается ниже заявленного поставщиком, последний компенсирует клиенту дефицит (возникающий избыток может использоваться для компенсации будущих дефицитов).

Преимущество лизинговых соглашений заключается в том, что разработчики проектируют, устанавливают, поддерживают и управляют системами. Таким образом, роль клиентов сводится к ограниченному числу обязательств: невмешательству в работу системы, а также к контролю негативного влияния на систему подконтрольных им факторов.

Что касается внешних доходов от подобной деятельности, то они распределяются следующим образом: государственные субсидии получает поставщик системы, а доходы от выдачи генерируемой электроэнергии в сеть – клиент.

Еще одной особенностью лизинговых контрактов является их длительный срок – как правило, около 20 лет. По истечению срока клиент может использовать одну из 3 альтернатив:

– продлить контракт еще на 5–10 лет;

– подписать новый контракт (возможно, с предоставлением ему более современного оборудования);

– демонтировать установленную систему.

Соглашения о покупке мощности (Power Purchase Agreement – PPA) очень похожи на договоры лизинга. Отличия заключаются в типе осуществляемых клиентом ежемесячных платежей, а также в доступных ему альтернативах по истечению срока действия соглашения.

В PPA клиенты платят поставщикам только за электроэнергию, произведенную системами распределенной генерации по установленному контрактом тарифу, который обычно ниже рыночного. Поэтому поставщики, а не клиенты, берут на себя весь риск, связанный с изменением уровня генерации. Как и в лизинговых соглашениях, если системы генерации не удовлетворяют потребности потребителей, клиенты могут купить электро-

энергию на розничном рынке для восполнения дефицита. По истечению срока действия соглашения у клиента помимо описанных выше 3 альтернатив появляется еще одна – приобретение установленной системы. Схематично данную бизнес-модель можно представить в следующем виде (рис. 4.38).

Потребительская ценность
– более низкая стоимость электроэнергии по сравнению с розничным рынком;
– энергетическая автономность и независимость;
– возможность внести вклад в защиту окружающей среды;
– минимальное количество инвестиций и риска;
– получение дохода при избыточной генерации*;
– минимальное участие в управлении системой

Формула прибыли
Доходы:
– регулярные платежи;
– субсидии по различным государственным программам.
Издержки:
– затраты на производство/закупку систем и поддержание их работоспособности;
– затраты на восполнение возможного недостатка оговоренного объема генерации*

Ключевые ресурсы и ключевые процессы
– сдача в аренду системных решений распределенной генерации;
– технологии солнечной/ветровой генерации;
– технологии хранения электроэнергии;
– технологии эффективного управления энергосистемой

** в зависимости от выбранной подмодели*

Рис. 4.38. Бизнес-модель лизинговых услуг и соглашений о покупке мощности
(заимствовано из [2])

Реализация обеих бизнес-моделей может также включать поставки комплементарного оборудования: к примеру, накопителей и систем автоматизированного управления режимами работы.

Модель ренты-пространства

При использовании данной бизнес-модели компания устанавливает распределенные системы генерации в арендованных помещениях. Наиболее распространенная форма модели «rent-the-space» основана на аренде крыш для установки солнечных батарей.

Разработчики проектов RTS платят клиентам за аренду помещения либо земельной площади (например, пастбищ). Подобные платежи могут дополняться и/или отменяться через уступку права использования мощности данных систем, поскольку генерируемая электроэнергия не может быть в полном объеме сохранена для последующего использования (по причине недостатка аккумулирующих установок).

В данной модели поставщики имеют 2 ключевых источника дохода: субсидии от государства; и продажа излишков генерируемой электрической энергии (которая не была выбрана потребителями) на РРЭ – в некоторых случаях компания, работающая по модели RTS, также является розничным продавцом.

Поскольку компании-поставщики владеют установленными системами генерации, они несут ответственность за их установку, обслуживание и управление. Что касается клиентов, им не нужно вкладывать средства в системы, и, следовательно, они не несут рисков, связанных с их поддержанием работоспособности подобных систем и их низкой окупаемостью. В зависимости от соглашения RTS-клиенты могут иметь либо не иметь права использовать генерируемую мощность (рис. 4.39).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– получение арендные платежей либо электроэнергии от компании-поставщика систем; – возможность внести вклад в защиту окружающей среды; – отсутствие инвестиций и сопутствующего риска; – отсутствие участия в установке, поддержке и управлении системой	Доходы: – продажа электрической энергии, сгенерированной системами, на розничном рынке; – субсидии по различным государственным программам; Издержки: – затраты на производство/закупку систем и поддержание их работоспособности; – затраты на аренду пространства под системы распределенной генерации

Ключевые ресурсы и ключевые процессы

– производство э/э из распределенных систем генерации на арендованных пространствах;
– доступ на розничный рынок;
– технологии солнечной/ветровой генерации;
– технологии хранения электроэнергии;
– технологии эффективного управления энергосистемой

Рис. 4.39. Бизнес-модель ренты-пространства (заимствовано из [2])

2. Бизнес-модели управления спросом [2]

Модели *управления спросом* влияют на конечный сегмент цепочки добавленной стоимости, позволяя потребителям оптимизировать свое энергопотребление (рис. 4.40).

В рамках этой категории выделяют 3 бизнес-модели:

– *энергосервис* (энергетические услуги);

– *поставка решений «умный дом»*;

– *услуги управления спросом* (demand response).

Энергосервисные услуги

Компании, предлагают своим клиентам техническую возможность снизить и оптимизировать потребление электрической энергии путем установки соответствующих систем и оборудования, а также путем активного управления энергопотреблением. Эта бизнес-модель обычно используется при взаимодействии с крупными потребителями. Данная модель является широко распространенной и наименее сложной.

** Если для выполнения услуги требуются специальные материалы, поставщик несет ответственность за проектирование системы, подлежащей установке, саму установку и дальнейшее обслуживание*

*** В некоторых случаях установка производится конечным пользователем при консультационной поддержке компании-поставщика*

Рис. 4.40. Цепочка создания ценности бизнес-моделей управления спросом
(заимствовано из [216])

Энергосервисные компании (ЭСК) предлагают своим клиентам решения по оптимизации потребления, концентрируясь на ключевых источниках потребления энергии – таких как освещение или кондиционирование воздуха.

Традиционно энергосервисные компании предлагают своим клиентам два типа решений:

1. *Аудит и продажа оборудования*. После проведения энергоаудита устанавливается новое оборудование с повышенными показателями энергоэффективности, что позволяет потребителю снизить общий объем потребления электроэнергии. При этом роль ЭСК, как правило, ограничивается ролью посредника между производителями оригинального оборудования и конечными потребителями.

2. *Энергетические услуги*. Подобные услуги могут включать аутсорсинг мониторинга и управления освещением и системами отопления, вентиляцией и кондиционированием воздуха, а также энергоснабжением. Потребители платят за управление потреблением и его оптимизацию, которое опирается на специальные технологии, устанавливаемые и управляемые ЭСК.

Энергосервисные компании обычно предлагают 3 типа контрактов на свои услуги:

1. *Фиксированные платежи за набор услуг*: услуги могут быть связаны с объемом потребляемой энергии, и в этом случае ЭСК уменьшают уровень потребления при сохранении масштабов деятельности клиента или могут снизить расходы на электроэнергию путем смещения потребле-

ния за пределы пиковых часов. Эта модель позволяет клиентам прогнозировать стоимость операций ЭСК, хотя существует потенциальный риск превышения выплат по таким услугам над фактической экономией средств от снижения энергопотребления.

2. *Контракты на поставку энергии*: ЭСК управляют контрактами на поставку энергоресурсов для клиентов, чтобы снизить стоимость электроэнергии, покупаемой клиентом. Заказчики обычно платят надбавку к стоимости электрической энергии в качестве компенсации ЭСК. Таким образом, клиенты передают на аутсорсинг все свои отношения с поставщиками энергии – однако метод вознаграждения не стимулирует ЭСК способствовать дальнейшему сокращению потребления у клиентов.

3. *Контракты на энергоэффективность*: ЭСК гарантируют клиентам определенное сокращение расходов на электроэнергию и получают выплаты в зависимости от достигнутой экономии. Преимущество этой модели заключается в том, что интересы ЭСК соответствуют интересам клиентов. Главным преимуществом подобного типа услуг для клиента является тот факт, что специализированные организации лучше реализуют мероприятия по энергоэффективности нежели сами клиенты. В рамках подобной бизнес-модели ЭСК все чаще принимают на себя ответственность за финансирование проектов в области энергоэффективности. Бизнес-модель энергосервисной компании можно представить следующим образом (рис. 4.41).

Потребительская ценность

– гарантированная экономия на энергопотреблении и/или стоимости полученной электроэнергии;

– минимальный риск, обусловленный минимальными инвестициями;

– отсутствие необходимости самостоятельно управлять энергопотреблением и взаимодействовать с поставщиками электрической энергии;

– возможность внести вклад в защиту окружающей среды

Формула прибыли

Доходы:

– единовременные поступления от:

▪ энергоаудита;

▪ продажи и установки оборудования;

– регулярные поступления от:

▪ аутсорсинга отношений клиентов с их поставщиками электроэнергии;

▪ управления энергосистемой клиентов.

Издержки:

– затраты на производство/закупку систем и поддержание их работоспособности;

– затраты на управление энергосистемами клиентов

Ключевые ресурсы и ключевые процессы

– предоставление комплексных решений по снижению энергопотребления и цены поставляемой с розничного рынка электроэнергии;

– накопленный опыт разработки кастомизированных технологических и управленческих систем

Рис. 4.41. Бизнес-модель энергосервисной компании (заимствовано из [2])

Подобные услуги наряду со специализированными ЭСК предлагают также крупные энергетические компании – тем не менее, уровень предоставляемых ими услуг может быть ниже такового, предоставляемого ЭСК.

Поставка решений «умный дом»

В данной бизнес-модели делается акцент на индивидуальных клиентах (физических лицах) – так, именно потребители в конечном итоге осуществляют управление потреблением электроэнергии.

Бизнес-модель *поставки решений «умный дом»* может быть реализована в 3 ключевых формах:

1. *Продажа систем «умный дом» и/или компонентов к ним*.

2. *Предоставление рекомендаций по потреблению со стороны энергосбытовых компаний*.

3. *Предоставление рекомендаций по потреблению со стороны компаний-поставщиков оборудования для систем «умный дом»* (осуществляется компаниями ИКТ сектора).

Модель *продажи систем «умный дом»* включает торговлю автоматизированными системами контроля и/или управления для бытовых источников потребления. Поставщики интеллектуальных домашних систем предлагают 2 типа решений:

1. *Системы ручного управления источниками потребления*. Эти системы позволяют конечным пользователям контролировать потребление электроэнергии посредством дистанционного управления различными источниками потребления (системы отопления и/или охлаждения, освещения и прочие электроприборы). Подобные системы позволяют потребителям также оптимизировать графики своего потребления за счет использования энергоемких приборов вне часов пик. Кроме того, системы могут снижать излишнее потребление путем отключения тех энергопринимающих устройств, которые не задействованы в текущий момент (термостаты, которые снижают температуру в помещении в те часы, когда там никто не находится).

2. *Автоматизированные системы для контроля источников потребления и управления ими*. Эти системы дополняют функции удаленного мониторинга и контроля автоматическим управлением бытовыми приборами и устройствами. Кроме того, они саморегулируются в соответствии с потребительскими привычками и внешними факторами – к примеру, погодными условиями.

Поставщики подобных систем обычно предлагают стандартные решения, которые часто могут устанавливаться самим пользователем (исключение обычно составляют кастомизированные системы премиум-класса). При этом обслуживание ограничивается гарантийным покрытием.

В модели *предоставления рекомендаций по оптимизации потребления электроэнергии* энергосбытовые компании собирают данные о потребностях своих клиентов (исключительно после заключения соответствующего соглашения о согласии на обработку данных) с помощью смарт-счетчиков и других устройств, установленных в домах (смарт-термостаты).

Собранные данные обычно отправляются сторонним компаниям, которые их анализируют и формируют соответствующие заключения – то есть в процесс вовлекается еще одна сторона – *оператор цифровых данных* (которым обычно является специализированная компания ИКТ сектора).

Реализация подобной модели приносит энергосбытовым компаниям ряд выгод:

– это повышает общую удовлетворенность потребителей своими поставщиками, повышает их лояльность и позволяет адаптировать предлагаемые услуги к потребностям конкретного клиента – снижая, тем самым, риск его ухода (что особенно актуально в условиях высоко конкурентного РРЭ, где у потребителя относительно низкие издержки переключения между сбытовыми энергокомпаниями);

– это увеличивает степень вовлеченности потребителей в других программах, важных для участников РРЭ (энергоаудиты, дистанционная оптимизация систем отопления/охлаждения и пр.);

– есть свидетельства того, что конечные потребители более позитивно воспринимают энергосбытовые компании, которые инициируют установку смарт-счетчиков, когда эта установка не является обязательной.

Бизнес-модель *предоставления рекомендаций по потреблению со стороны компаний-поставщиков оборудования для систем «умный дом»* ориентирована на сбор данных о привычках энергопотребления большого числа людей, с целью монетизации данных с помощью генерирующих и сбытовых компаний (сбор также осуществляется лишь после подписания с клиентами соответствующих соглашений на обработку данных).

Выгоды распределяются следующим образом:

– потребители в обмен на предоставление части данных об их потреблении получают возможность его оптимизации;

– поставщики подобных услуг имеют возможность продажи агрегированных данных подобного рода тем субъектам РРЭ, для которых они представляют особую ценность (к примеру, энергосбытовым компаниям).

В отдельных случаях поставщики услуги могут безвозмездно устанавливать у потребителей оборудование, которое позволяет собирать подобные данные.

Бизнес-модель поставки решений «умный дом» можно представить следующим образом (рис. 4.42).

Услуги управления спросом

В некоторых случаях может возникать дефицит электроэнергии, который невозможно покрыть за счет увеличения генерирующих мощностей (в краткосрочном периоде).

Компании, предоставляющие услуги подобного рода, выступают в качестве посредников между операторами электрических сетей или, в некоторых случаях, энергосбытовыми/генерирующими компаниями и их клиентами (обычно являющихся коммерческими и промышленными предприятиями с высоким энергопотреблением). Они получают оплату за вре-

менное снижение энергопотребления своих клиентов: либо через заключение двухсторонних контрактов, либо через рыночные механизмы (торговля сокращениями).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– экономия расходов на электроэнергию через оптимизацию ее потребления; – получение возможности удаленного контроля и/или управления энергопринимающими устройствами; – возможность внести вклад в защиту окружающей среды	Доходы: – единовременные поступления от продажи и установки оборудования; – регулярные поступления от потребителей собранных данных; Издержки: – затраты на производство/закупку систем и поддержание их работоспособности; – затраты на обработку собранных данных
Ключевые ресурсы и ключевые процессы – предоставление комплексных решений по оптимизации энергопотребления; – анализ больших объемов данных	

Рис. 4.42. Бизнес-модель поставки решений «умный дом» (заимствовано из [2])

Клиенты получают от компаний по управлению спросом 2-компонентные платежи за предоставление своих энергопринимающих устройств в пользование:

– фиксированную сумму в качестве вознаграждения за предоставление подобного доступа;

– переменные платежи, зависящие от фактической величины сокращения потребления со стороны компаний по управлению спросом.

В области ответственности поставщиков подобных услуг находится развертывание, обслуживание и подключение своих мониторинговых центров к коммерческим и промышленным предприятиям, а также многоквартирным домам и частному сектору. Кроме того, зачастую с их стороны предоставляются гарантии клиентам в том, что объемы сокращения потребления не будут негативно сказываться на ключевых операциях последних.

У клиентов также имеется возможность отказаться от сокращения потребления по запросу поставщика услуги – но за этим (в соответствии с условиями договора) последуют определенные штрафные санкции.

Бизнес-модель поставки решений «умный дом» можно представить следующим образом (рис. 4.43).

3. Бизнес-модели агрегации региональных систем [2]

Бизнес-модели *агрегации региональных систем* объединяют рассмотренные ранее типы моделей (распределенной генерации и управления спросом). Данные бизнес-модели могут быть реализованы в виде 2 ключевых решений:

– *виртуальные электростанции*. Объединяют источники генерации в виртуальную энергосеть и корректируют их количество и выработку в зависимости от колебаний спроса и цены на электроэнергию;

– *микросети*. Представляют собой локальные энергосистемы, интегрирующие местные источники распределенной генерации и энергопотребления и позволяющие балансировать энергосистему за счет управления ими.

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– получение клиентами денежной компенсации за снижение своего энергопотребления; – гарантии от поставщика услуги в том, что снижение энергопотребления не приведет к нарушению ключевых процессов	Доходы: – платежи от сетевых и/или генерирующих компаний за снижение объема спроса; Издержки: – компенсации клиентам за снижение спроса; – затраты на установку и поддержание работоспособности мониторинговых систем

Ключевые ресурсы и ключевые процессы

– посредничество между операторами электросетей/энергосбытовыми/генерирующими компаниями и их клиентами;

– компетенции в управлении мониторинговыми системами

Рис. 4.43. Бизнес-модель поставки услуг по управлению спросом на электроэнергию (заимствовано из [2])

Главным различием между данными решениями является тот факт, что *виртуальные электростанции* также могут применяться и на оптовом рынке электроэнергии.

Виртуальные электростанции

ВиртЭС – это кластер распределенных генерирующих установок, который управляется одним субъектом и способен поставлять электроэнергию в энергосистему так, как если бы это была обычная электростанция. ВиртЭС считаются комплексными системами, поскольку они включают в себя управление распределенными системами генерации и продажу электроэнергии на основе колебаний спроса.

Операторы ВиртЭС продают мощности по выработке электроэнергии по двусторонним контрактам с сетевыми операторами или сбытовыми компаниями. Они сочетают генерирующие мощности нескольких крупных активных потребителей (предприятий и крупных учреждений). В случае дисбаланса спроса и предложения управляющие ВиртЭС объединяют генерируемую мощность, доступную через виртуальные электростанции, и выдают ее в сеть. В этой модели при продаже своих услуг операторы ВиртЭС могут получать компенсацию 2 способами:

– либо в зависимости от предоставляемой мощности (за МВт);

– либо в зависимости от объема выдаваемой электроэнергии (за МВт·ч), которая оплачивается по установленному в контракте или на рынке электроэнергии тарифу.

В свою очередь операторы осуществляют платежи генерирующим компаниям, позволяющим первым использовать свои мощности. Для повышения гибкости работы системы операторы ВиртЭС могут получать возможность дистанционного управления генерирующими мощностями производителей электрической энергии. При этом именно операторы несут ответственность за установку, обслуживание и подключение своих центров мониторинга ко всему оборудованию управления генераторами.

Операторы ВиртЭС могут комбинировать предоставляемые услуги с услугами по управлению потреблением (поскольку агрегируют у себя достаточные объемы соответствующих данных с энергопринимающих устройств потребителей). Бизнес-модель виртуальной электростанции можно представить следующим образом (рис. 4.44).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– возможность продажи излишков в сеть; – восполнение дефицита предложения электроэнергии	Доходы: – поступления от предоставляемой мощности или объема подаваемой электроэнергии на рынке; Издержки: – выплаты предприятиям за предоставление мощностей; – затраты на интеграцию и содержание мониторинговых центров
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– посредничество между владельцами генерирующих мощностей и розничным рынком электроэнергии; – компетенции в координации процесса балансировки РРЭ	

Рис. 4.44. Бизнес-модель виртуальной электростанции (заимствовано из [2])

Микросети

В *микросетях* генерация осуществляется активными потребителями и небольшими распределенными электростанциями. Эти источники генерации дополняются системами хранения, которые позволяют сделать микросети более автономными (от ЕЭС). Вырабатываемая электроэнергия используется как самими производителями, так и прочими источниками потребления – к примеру, для уличного освещения (если микросеть включает в себя городской район).

Микросети могут функционировать в полной изоляции или оставаться подключенными к традиционным распределительным сетям. Второй вариант позволяет компенсировать нехватку генерирующих мощностей за счет потребления энергии из ЕЭС. Возникающие в рамках микросети излишки могут быть выданы в сеть через рыночные механизмы.

Потребители платят за подключение к микросети и за энергопотребление (расчеты за энергопотребление могут быть сальдированы в случае,

если потребитель является активным и у него возникает излишек, который он может выдать в сеть). Поступающие платежи используются для содержания инфраструктуры микросети, а также для ее обслуживания и управления ею.

Подобные решения также часто распространены в удаленных территориях, которые физически трудно подключить к ЕЭС. В подобных ситуациях микросеть может управляться компанией-оператором, который осуществляет ее установку и последующее поддержание.

Подобная бизнес-модель обычно реализуется в одной из 3 следующих форм:

1. *«Изолированные» от ЕЭС системы* (описаны выше).

2. *Замкнутые коммерческие системы*. Микросеть объединяет существующие источники генерации и связывает их с местными потребителями, чтобы улучшить стабильность энергоснабжения путем снижения зависимости от ЕЭС.

3. *Военные резервные системы.* В основном используются для повышения безопасности источников питания для военных объектов в случае физической или кибератаки на традиционные сети.

Бизнес-модель виртуальной электростанции можно представить следующим образом (рис. 4.45).

Потребительская ценность	**Формула прибыли**
– энергетическая автономность (возможность снизить или ликвидировать зависимость от ЕЭС); – возможность восполнять недостаток из микросети; – возможность получать доход от выдачи излишков в ЕЭС	Доходы: – поступления от потребителей за подключение к микросети; – государственные субсидии (поддержка электрификации удаленных и/или изолированных территорий); Издержки: – затраты на создание и поддержание работоспособности микросети
Ключевые ресурсы и ключевые процессы	
– поддержание высокой работоспособности микросети; – выполнение посреднической роли между участниками микросети (включая активных потребителей) и РРЭ	

Рис. 4.45. Бизнес-модель микросети (заимствовано из [2])

Несмотря на некую долю ортодоксальности энергетических компаний в отношении выбора бизнес-модели, в настоящее время под влиянием внешних изменений компании начинают изменять свои практики с тем, чтобы в большей степени отвечать возросшим требованиям со стороны конечных потребителей электрической энергии и сохранить и/или упрочнить свое рыночное положение.

4.2.3. Возможные направления трансформации бизнес-моделей российских энергетических компаний

В настоящее время у компаний существует широкий спектр возможностей дальнейшего развития. Тем не менее, данный выбор усложняется из-за присутствующей сложности и динамичности энергетического сектора. Это, в свою очередь, вполне вероятно приведет к тому, что в рамках одной энергетической системы будет одновременно функционировать ряд бизнес-моделей, удовлетворяющих специфические интересы определенных групп.

Тем не менее, вне зависимости от того, какую бизнес-модель будут применять отдельные компании, важным фактором является понимание того, каким образом можно выгодно использовать сложившуюся рыночную позицию для формирования будущей конкурентоспособности. У компаний существует ряд рычагов, уместное и правильное использование которых повышает вероятность формирования устойчивого конкурентного преимущества (рис. 4.46).

Рис. 4.46. Рычаги трансформации бизнес-модели компании энергетического сектора (адаптировано из [5])

Одним из ключевых рычагов являются *данные*. Владение сетью и потребительская информация позволяют формировать пул знаний, который существенно увеличивает ценность потребительского предложения для клиентов компании. *Политика* оказывает прямое воздействие на деятельность компаний и успешность их бизнес-моделей, поскольку она определяет легитимное поле и создает либо, наоборот, уменьшает возможности для новых игроков. *Взаимоотношения* с клиентами, поставщиками

и прочими стейкхолдерами позволяют создавать капитал взаимоотношений и повышают успешность бизнес-модели компании. Изменения в традиционных моделях *ценообразования* со смещением в сторону ориентации на ценность, а не издержки позволяют достигать большей гибкости и гарантируют большую надежность денежных потоков. *Партнерские отношения* позволяют превратить ценностное предложение в некую платформу, в рамках которой возможно создание позитивных сетевых эффектов, результат которых доступен всем участникам. *Регуляторные механизмы* непосредственно задают возможности для конкурирования в данном секторе и определяют характер рыночного поведения игроков.

В разделе 4.2.1 было описано 8 бизнес-моделей компаний энергетического сектора, наиболее часто используемых в современной практике. Тем не менее, успешность реализации каждой из них существенным образом зависит от того, каковы внешние условия ее функционирования (к примеру, элементы «политика», «взаимоотношения», «партнерские отношения», «регулирование» на рис. 4.46), а также от того, какими ресурсами обладает компания, критически важными с точки зрения реализации бизнес-модели.

С точки зрения внешней среды особенно важны особенности рынка, на котором функционирует компания (наличие конкурентных сегментов и тип конкуренции в них, наличие у конечного потребителя выбора формата энергоснабжения и т. д.), регуляторная среда (возможна ли юридическая реализация отдельной бизнес-модели в конкретном рынке, насколько комфортными являются условия для реализации подобной модели), уровень институционального развития (насколько развиты институты, необходимые для осуществления совместной деятельности: научные и образовательные учреждения, финансово-кредитные учреждения, органы контроля и управления энергетическим сектором и т. д.). Также следует учитывать вызовы, которые возникают перед отдельными бизнес-моделями в условиях изменения энергетического сектора – специфические факторы, определяющие возможность и успешность реализации бизнес-модели.

С точки зрения внутренней среды компании важно наличие ключевых ресурсов и способностей, которые выступают основой для реализации бизнес-модели.

В табл. 4.4 приведены факторы внешней и внутренней среды организации, которые необходимо принимать во внимание при оценке возможности реализации определенной бизнес-модели.

То есть выбор бизнес-модели, с одной стороны, зависит от условий, в которых вынуждена функционировать энергетическая компания; а с другой – от доступных ей ресурсов и способностей. Последнее относится как к существующим игрокам, которые должны адаптироваться под изменяющиеся внешние условия и корректировать свою деятельность, так и к новым участникам сектора, которые должны понимать, какие ресурсы и способности критически важны для реализации приведенных бизнес-моделей.

Таблица 4.4

Факторы внешней и внутренней среды энергетической компании, оказывающие влияние на выбор бизнес-модели

Бизнес-модель	Специфические факторы внешней среды	Факторы внутренней среды (наличие ресурсов и способностей)
1	*2*	*3*
Gentailer	Высокая распространенность распределенных источников энергии – как в собственности потребителей, так и предоставляемых различными провайдерами. Изменения в законодательстве, позволяющие сетевым операторам развивать, владеть и управлять распределенными источниками генерации. Появление новых игроков, предлагающих продукты/услуги, позволяющие потребителям управлять собственным энергопотреблением	В сегменте генерации: знание характера спроса и рынка (рыночная экспертиза); управление проектами (строительство генерирующих мощностей); финансирование проектов (собственные и заемные средства); управление активами (генерирующие мощности). В сегменте сбыта: торговля электрической энергией (знание и понимание рыночных тенденций и механизмов); хеджирование торгов (в случае продажи электрической энергии на бирже); развитие продукта; ценообразование; приобретение клиентов и управление взаимоотношениями с ними
Традиционный оптовик	Высокая распространенность распределенных источников энергии и решений по управлению спросом, позволяющих снизить общий объем потребления электрической энергии. Развитие деструктивных решений ИЭС – например, накопителей, которые конкурируют с традиционными оптовиками. Развитие высокоэффективной генерации	Понимание спроса и предложения на оптовом рынке; навыки управления проектами (строительство генерирующих мощностей – включая вопросы привлечения финансирования); эффективное управление активами; хеджирование рисков; способность выполнять сложные контракты на покупку и продажу электрической энергии (включая использование деривативов)

Продолжение табл. 4.4

1	2	3
Строитель сети	Распространение распределенных источников энергии в совокупности с развитием навыков у операторов распределительных сетей и микросетей снижает спрос на сеть передачи. Прочие строители сети получают преимущества первопроходца на новых рынках. Внедрение регуляторных стимулов, в рамках которых управление рисками не может осуществляться только строителем сети	Навыки проектирования, управления и эксплуатации высоковольтных линий электропередач и сопутствующей инфраструктуры; навыки управления балансом спроса и предложения на оптовом рынке электроэнергии в режиме реального времени; обеспечение соблюдения стандартов надежности поставок электрической энергии; взаимодействие с местными органами власти, владельцами земельных участников, потребителями, поставщиками оборудования; навыки установления тесных взаимоотношений с инвесторами и партнерами по СП (получение дешевых кредитов и установление сложных механизмов владения создаваемыми активами)
Оператор сети	Высокая распространенность распределенных источников энергии и микросетей, которые снижают необходимость наличия единого системного оператора в процессе доставки электроэнергии. Изменения законодательства, которые стимулируют развитие независимых системных операторов	Глубокие навыки проектирования, строительства и эксплуатации электрических сетей; умение балансировать спрос и предложение в режиме реального времени; способность интегрировать электрическую энергию из различных источников генерации
Продуктовый инноватор	Изменения в законодательстве, позволяющие сетевым операторам развивать, владеть и управлять распределенными источниками генерации. Инновации в потребительском предложении со стороны традиционных и новых игроков. Регуляторные изменения, стимулирующие розничную продажу электрической энергии. Трансформация услуг в «пакеты», что увеличивает их привлекательность в глазах потребителя. Распространение новых тарифов, создающих возможности для потребителей формата «риск/вознаграждение»	Способность приобретать и удерживать потребителей. Способность осуществлять кросс-продажи (комплементарные продукты и услуги)

Окончание табл. 4.4

1	2	3
Партнер партнеров	Расширение возможностей выбора и усложнение рыночных взаимоотношений (с точки зрения технологий и провайдеров). Множество новых рыночных игроков, предлагающих потребителям широкий ассортимент продуктов и услуг. Инновации модели создания добавленной стоимости, осуществляемые традиционными и новыми игроками. Изменения законодательства, которые стимулируют развитие конкурентных энергосбытовых компаний	Способность приобретать потребителей. Умение предоставлять высококачественный сервис (по сравнению с традиционными сбытовыми организациями). Способность извлекать из взаимодействия с потребителями данные, необходимые для поддержания высокого уровня сервиса. Способность устанавливать взаимовыгодные отношения с бизнес-партнерами
Создатель добавленной стоимости	Снижение стоимости устройств для анализа и контроля энергопотребления. Изменения законодательства, усложняющие процессы сбора и обработки потребительских данных. Использование бренда партнера для выхода на рынок	Способность собирать и обрабатывать огромные массивы данных, генерируемых в рамках системы. Способность оперативно разрабатывать рекомендации потребителям в отношении энергопотребления. Способность обучать потребителей управлять собственным потреблением электрической энергии. Способность явно демонстрировать ценность, создаваемую на основании собранных данных с тем, чтобы потребители выбирали услуги данной компании, а не стороннего провайдера
Виртуальная энергокомпания	Широкое распространение независимых владельцев распределенной генерации и накопителей. Изменения законодательства, стимулирующие развитие розничной торговли электрической энергией. Предложения со стороны новых игроков, увеличивающих вовлеченность потребителей в управление собственными энергетическими потребностями	Эффективная комбинация энергетических ресурсов. Способность успешно взаимодействовать с местными распределительными сетями. Навыки балансирования спроса и предложения в режиме реального времени. Управление вовлеченностью потребителей

Примерами изменения бизнес-моделей традиционных игроков сектора могут стать компании «Газпром энергохолдинг», «Интер РАО», «Т плюс», «Юнипро», которые, начиная примерно с 2010-х гг., корректируют свою деятельность с большим фокусом на возникающие рыночные потребности (персонализация взаимоотношений с потребителями, предоставление дополнительных сервисов, выстраивание партнерских отношений с компаниями из смежных секторов) [217].

4.2.4. Инновационный потенциал традиционных электроэнергетических компаний на российском рынке

Электроэнергетическая отрасль России, как известно, характеризуется долговременностью изменений, которые обусловлены ее капиталоемкостью и рядом институциональных факторов. В текущих условиях, когда мировая энергетика меняется быстрыми темпами и создает условия для возникновения новых игроков с точки зрения модели бизнеса, для традиционных российских компаний особенно важным становится наличие ресурсов и возможностей для перестройки текущих операционных процессов и внедрения новых практик управления. Только применение новых технологий и обновление приоритетов в стратегическом плане позволят провести необходимую трансформацию.

Как было отмечено уже ранее, технологии станут важным фактором для прогрессивного развития отрасли. Ключевым ресурсом развития для традиционных компаний в рамках происходящих технологической и цифровой трансформаций станут инновации. Именно способность создавать их самостоятельно или наличие доступа к ним позволит компании провести необходимые изменения для удовлетворения изменившихся нужд потребителей и занять лидирующие позиции на рынке.

С точки зрения источника инноваций и технологических решений, компании могут быть классифицированы следующим образом (за основу была взята классификация инновационных бизнес-моделей [218]):

1. Компания-производитель.
2. Компания-партнер.
3. Компания-реципиент.
4. Компания-покупатель.

Соответственно, *компания-производитель* имеет возможность собственными силами производить основные разработки и исследования в области инноваций; *компания-партнер* использует партнерскую сеть, кооперацию с другими игроками для создания чего-то нового; *компания-реципиент* использует разработки головной компании (в данном случае головной компанией может выступать как иностранная Группа, так и просто российская головная компания); *компания-покупатель* покупает (заимствует) основную часть технологий и разработок на рынке.

Определение преобладающего типа согласно данной классификации для компаний в каждом из сегментов электроэнергетического рынка позволит установить компании, которые в рамках формирования экосистемы инноваций будут активно участвовать в данном процессе и предлагать различные созидательные решения, особенно в технологической части. Выявление таких компаний важно с точки зрения учета их интересов в новых формах взаимодействий и использования их для реализации и внедрения ряда важных инфраструктурных проектов.

Для подробного изучения отдельных традиционных компаний и их БМ в контексте источника инноваций необходимо рассмотреть основных игроков каждого из сегментов рынка электроэнергии России.

Сегмент генерации [4]

Сегмент генерации представлен такими компаниями, как:

1. Государственные компании.
2. Частные российские компании.
3. Частные иностранные компании.

За основу классификации компаний был взят такой параметр, как собственность на капитал.

В табл. 4.5 содержится информация по субъектам рынка в рамках данной классификации.

Таблица 4.5

Классификация субъектов рынка электроэнергии

Государственные компании	Частные российские компании (крупнейшие)	Частные иностранные компании
ООО «Газпром энергохолдинг» ПАО «РусГидро» ПАО «Интер РАО»	ПАО «Т Плюс» АО «ЕвроСибЭнерго»	ПАО «Энел Россия» ПАО «Фортум» ПАО «Юнипро»

Опишем разные группы генерирующих компаний России с точки зрения источника инноваций, применяемых в их деятельности. Основные результаты анализа представлены в табл. 4.6. Результаты, отраженные в табл. 4.6, позволяют говорить о том, что в каждой группе генерирующих компаний преобладает та или иная модель.

Так, для государственных компаний основной моделью является «Компания-производитель». Это объясняется наличием широкого спектра собственных активов и ресурсов для проведения технологических разработок, которые также имеют и государственную важность. Дополнительной моделью для данной группы компаний является «Компания-партнер», что определяется структурной ролью государственных компаний, широтой спектра их деятельности и наличием определенных ценностных предложений для партнеров.

Для частных компаний с иностранным участием основной моделью выступает модель «Компания-реципиент». Данная модель предполагает

использование технологических разработок Группы компаний и их адаптацию на российском рынке. Преобладание такой модели у данных компаний объясняется их природой и принадлежностью к иностранной Группе, которая так или иначе контролирует их деятельность. Второстепенной моделью выступает модель «Компания-партнер». Частные иностранные компании на российском рынке следуют принципам деятельности Группы, которая высоко оценивает роль и ценность партнерств с другими участниками рынка. Поэтому они формируют ряд ценностных предложений для партнеров и участвуют в различных совместных видах деятельности.

Таблица 4.6

Классификация генерирующих компаний России

	Компания-производитель	**Компания-партнер**	**Компания-реципиент**	**Компания-покупатель**
Государственные компании				
ПАО «РусГидро»	+	±		
ООО «Газпром Энергохолдинг»	±	+		
ПАО «Интер РАО»	+	±		±
Частные компании с иностранным участием				
ПАО «Энел Россия»		±	+	
ПАО «Фортум»		±	+	
ПАО «Юнипро»	±		+	
Частные российские компании				
ПАО «Т Плюс»	±	+		
АО «ЕвроСибЭнерго»	±	+		±

** Сформировано на основе [219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226]*

Функционирование частных российских компаний в основном определяется моделью «Компания-партнер», так как данные компании не имеют такой широкой базы и ресурсов для собственных разработок или доступа к международному рынку технологий. Хотя их активность в отношении партнерств сильно уступает частным компаниям с иностранным участием. Вторичной моделью для этой группы является модель «Компания-производитель», но при этом в своей основе она ограничена по сравнению с другими группами компаний, которые ее реализуют.

Сегмент передачи и распределения [4]

Компании в данном сегменте представлены двумя группами:

1. ПАО «Россети» (деятельность находится под контролем государства). В своем составе имеет непосредственно компании, участвующие в выполнении ее операционной функции: ПАО «ФСК ЕЭС», межрегио-

нальные распределительные сетевые компании, региональные распределительные компании. Также в состав Группы входят инженерные центры и ряд других научно-исследовательских организаций.

2. Частные сетевые компании (АО «БЭСК», ОАО «ИЭСК», ПАО «СУЭНКО» и др.).

В табл. 4.7 представлен анализ компаний, составляющих сегмент передачи и распределения, согласно рассмотренной ранее типологии по источнику инноваций.

Таблица 4.7

Классификация бизнес-моделей электросетевых компаний

	Компания-производитель	**Компания-партнер**	**Компания-реципиент**	**Компания-покупатель**
ПАО «Россети»	+	±		
Частные электросетевые компании		±		+

** Сформировано на основе [227, 228, 229, 230]*

Согласно результатам анализа, для ПАО «Россети» основной моделью является модель «Компания-производитель». Данная компания обладает широким спектром ресурсов и технологической базой, чтобы проводить цифровую трансформацию на основе собственных разработок. ПАО «Россети» активно развивается, используя широкий спектр технологических решений. Вторичной моделью для данной компании выступает модель «Компания-партнер», так как ПАО «Россети» уделяет отдельное внимание выстраиванию отношений с другими участниками электроэнергетического рынка России и совместным разработкам.

Для частных электросетевых компаний основной моделью в области технологий является модель «Компания-покупатель». Основные технологические решения данные компании заимствуют на рынке. Такая модель объясняется ограниченностью их ресурсов и небольшой долей на рынке, чтобы проводить собственные объемные исследования. Модель «Компания-партнер» также релевантна для ряда таких компаний, но в объеме гораздо меньшем, чем для ПАО «Россети».

Отдельно стоит сказать о модели «Компания-реципиент». В рассматриваемом сегменте электроэнергетического рынка России она будет релевантна для дочерних компаний ПАО «Россети», которые ранее были перечислены. Именно они используют ресурсы и технологические разработки головной компании.

Сегмент распределения [4]

Сегмент сбыта, являющийся частью электроэнергетического рынка России, является конкурентно-регулируемым. Основные его участники:

1. Независимые энергосбытовые компании.
2. Гарантирующие поставщики.

Гарантирующие поставщики представлены сбытовыми компаниями, которые обязаны заключить договор с любым потребителем, который обратился к ним и расположен в зоне их деятельности, то есть это определенный статус. Наделение им компании определяется органами власти. Также региональные органы власти ограничивают зону деятельности конкретного гарантирующего поставщика. Классифицируя бизнес-модели компаний в сегменте сбыта, представляется возможным применение того же принципа типологизации, что и ранее, но с некоторыми пояснениями. Ряд энергосбытовых компаний принадлежат группам компаний. Например, ПАО «Дагестанская энергосбытовая компания» является дочерней компанией ПАО «Россети», и в своей деятельности она активно будет использовать разработки Группы [231]. Поэтому в табл. 4.8 для классификации представляется оправданным выделить отдельно сбытовые компании, входящие в структуру холдингов, и независимые частные энергосбытовые компании.

Таблица 4.8

Классификация бизнес-моделей электросетевых компаний

	Компания-производитель	**Компания-партнер**	**Компания-реципиент**	**Компания-покупатель**
Сбытовые компании, входящие в структуру холдингов		±	+	
Независимые частные энергосбытовые компании		±		+

Для сбытовых компаний, входящих в структуру холдингов, основной моделью является модель «Компания-реципиент», так как Группа, в которую они входят, обладает собственными ресурсами для технологических разработок, которые в дальнейшем она внедряет в своих дочерних компаниях. Вторичной моделью можно считать модель «Компания-партнер».

Независимые частные энергосбытовые компании в основе своей деятельности имеют модель «Компания-покупатель», так как именно рынок становится для них основным источником технологий. Данным компаниям в большинстве своем не хватает собственных активов для масштабных исследовательских проектов. Второстепенной моделью также выступает модель «Компания-партнер», как и для первой группы компаний в сегменте сбыта.

Как ранее уже отмечалось, в изменяющихся условиях рынка электроэнергии необходимо понимать роли энергетических компаний и наличия у них инновационного потенциала, который они в дальнейшем могут использовать для трансформации своего бизнеса. Но еще более важным моментом становится понимание того, какой из сегментов обладает

наибольшими возможностями с точки зрения инноваций в рамках традиционных компаний. «Активные» игроки, участвующие в ключевых технологических изменениях, в конкретном сегменте будут иметь роль опорных элементов для новой модели рынка в контексте экосистемы инноваций.

Для определения потенциала сегментов электроэнергетического рынка России обратимся к ранее полученным результатам типирования энергетических компаний согласно разработанной модели, где основным критерием выступает источник инновационных технологий.

На рис. 4.47 отмечены имеющиеся типы БМ на каждом из сегментов рынка электроэнергии России.

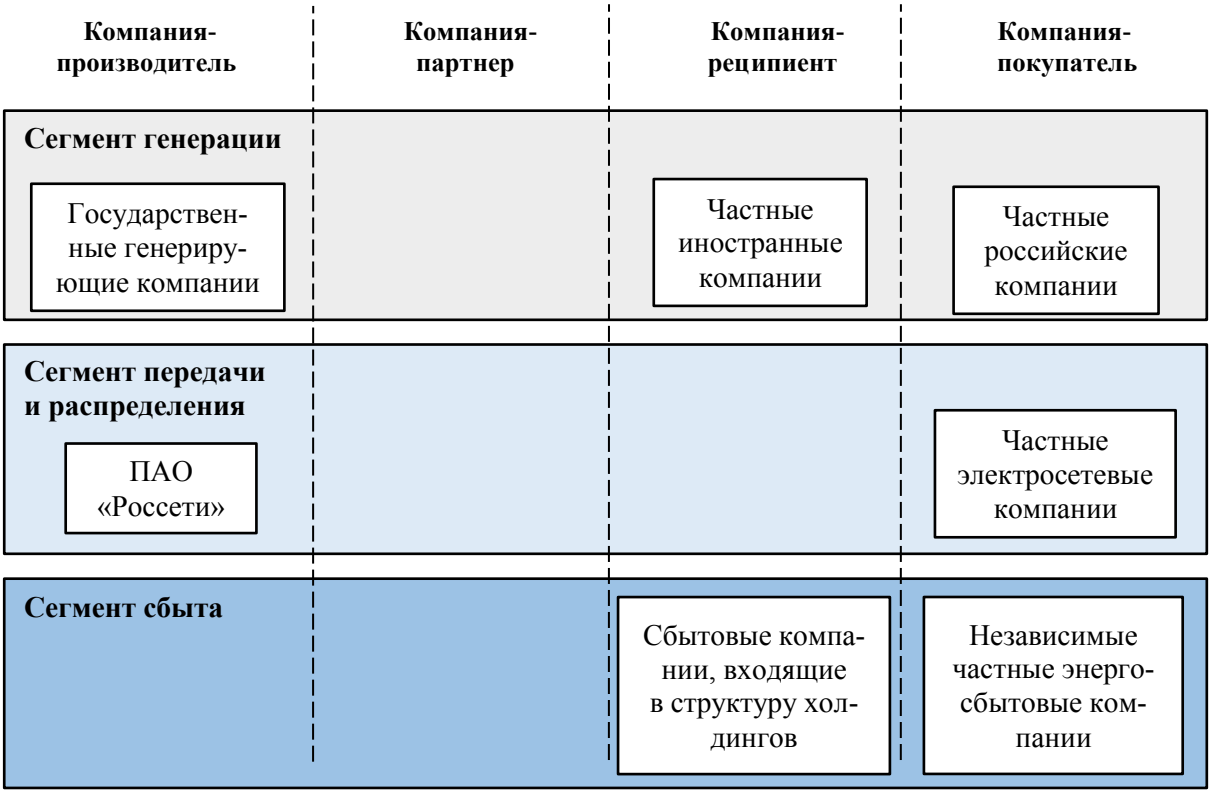

Рис. 4.47. Распределение компаний электроэнергетического рынка согласно типологии их бизнес-моделей (адаптировано из [4])

Как можно видеть, наибольший потенциал для развития и трансформации с точки зрения инноваций имеет сегмент генерации. В нем важную роль в процессах преобразований и трансформации рынка будут играть государственные компании, которые в своей основе имеют модель «Компания-производитель». Несмотря на, возможно, их меньшую гибкость по сравнению с частными иностранными компаниями, они обладают достаточной ресурсной базой и внутренними способностями, чтобы создать базис для технологических изменений и формирования новой экосистемы.

Частным иностранным компаниям также должна быть отведена отдельная роль, так как у них есть неоспоримое преимущество – упрощен-

ный доступ к международным рынкам технологий. Группы, частью которых они являются, ввиду их широкой географии присутствия и функционирования на развитых либерализованных рынках электроэнергии, имеют развитые механизмы адаптации к новым моделям и наиболее эффективные формы ответа на изменяющиеся запросы потребителей и возможности самих рынков. «Транзит» данных решений через частные иностранные компании на российский рынок очень важен в рамках формирования новой экосистемы инноваций.

Отдельно стоит отметить и существующую модель управления сегмента генерации. После проведения реформы по либерализации российского рынка электроэнергии именно данный сегмент, в отличие от двух других, считается конкурентным. Такая среда открывает компаниям больше возможностей для развития и оптимизации своей деятельности.

В сегменте передачи и распределения приоритетной компанией для развития и использования ее ресурсов и возможностей в свою очередь будет ПАО «Россети». Естественно, монопольное положение компании, огромная ресурсная база и широкая сеть присутствия создают ряд устойчивых конкурентных преимуществ. При этом для поддержания ее позиции жизненно важным становится ее участие в ключевых инфраструктурных проектах и новых рынках, формируемых за счет новых технологий и сервисов.

Сегмент сбыта, в котором однозначно в будущем вектор развития должен сместиться в сторону формирования полноценной конкурентной среды, где потребитель имеет широкий круг возможностей и влияния, будет, естественно, базироваться на сбытовых компаниях, не имеющих статус гарантирующего поставщика. При этом компании, принадлежащие более крупным холдингам, смогут стать проводниками капитала и технологических решений для рынка. Ресурсная база головной компании позволит осуществить такие потоки и способствовать трансформации рынка.

Таким образом, роль компаний электроэнергетического рынка России будет различна, ключевыми участниками будут являться компании, имеющие широкую ресурсную базу или доступ к источнику данных ресурсов и технологических знаний. Важно при этом понимать, что в новых условиях запросы потребителей не просто будут увеличиваться, а претерпят трансформацию и приобретут совершенно новый характер. При таком положении дел и формировании экосистемы инноваций ключевые компании каждого из сегмента рынка должны не только поддерживать достаточный уровень технологичности и образовывать, по сути, отдельную сеть для обмена технологиями и решениями, но и быстро реагировать на меняющийся характер спроса и потребности клиентов. Клиентоориентированность должна стать одной из самых важных характеристик.

4.3. Инновационные экосистемы в электроэнергетике

Инновационная экосистема в экономике характеризуется двойственностью внутренней логики. С одной стороны, это совокупность взаимодействующих субъектов, коммерциализирующих инновации, их взаимосвязи, где аккумулированы человеческие, финансовые и иные ресурсы для интенсификации, оптимизации и обеспечения эффективности коммерциализации инноваций [232]. С другой стороны, это экономическая система, аналогичная биологической, где благодаря самоорганизации и закону биологического разнообразия и естественного отбора происходит взаимодействие агентов, создающих инновации, направленное на создание и развитие инноваций [233].

В отличие от статичной модели, где методы регулирования осуществляются в традиционной вертикальной иерархической модели управления, в экосистеме присутствуют рыночные механизмы саморазвития [234] и происходит эволюция от случайно собранных вместе элементов к более структурированному сообществу [235].

По аналогии с процессами природных экосистем модель факторов развития экосистем может быть представлена следующим образом (рис. 4.48).

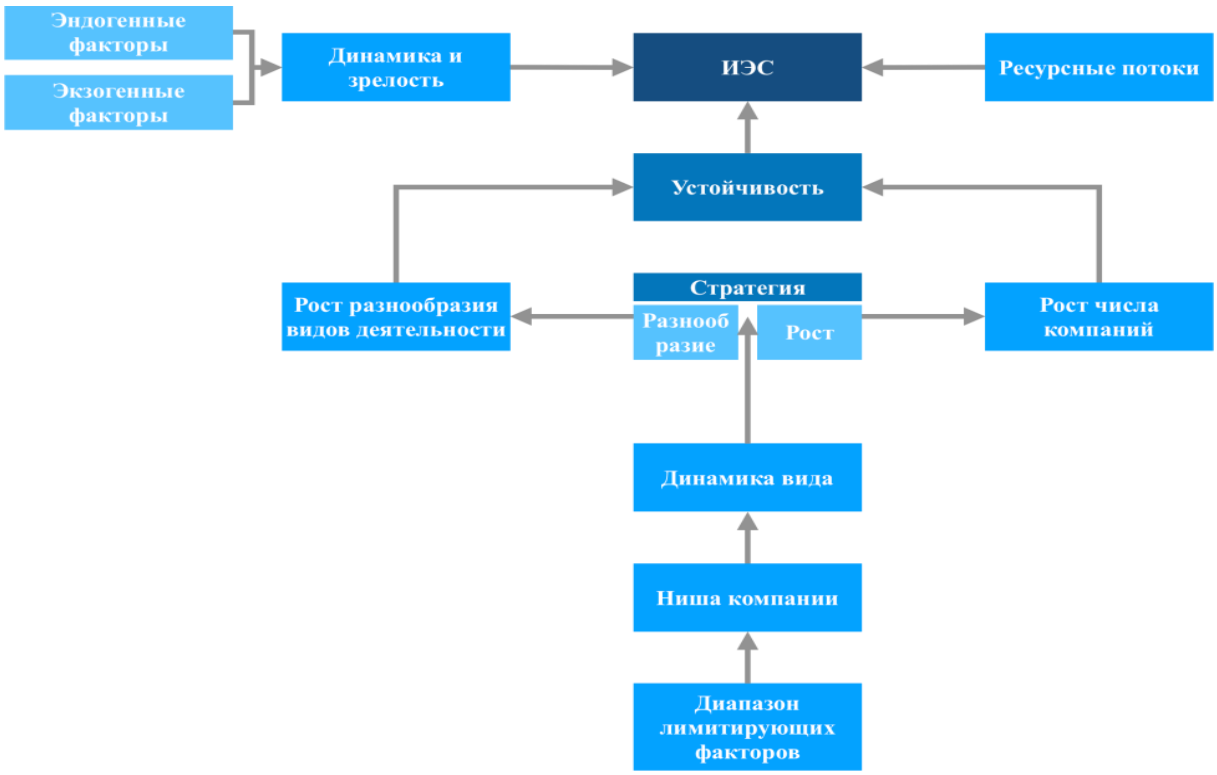

Рис. 4.48. Модель факторов развития инновационных экосистем [233]

По аналогии с биологическими системами, в экосистемах целями являются: создание и развитие симбиотического сообщества; рост продуктивности и эффективности системы; создание круговорота обмена потоками энергией, веществом, информацией.

При этом в экосистеме можно выделить несколько уровней, на которых участники играют разные роли: на первом уровне участники-продуценты создают первичную продукцию, на втором участники-консументы ее потребляют и дают прирост массы за единицу времени, участники на более низких уровнях являются питательной средой, то есть источниками (ресурсов, энергии и т. д.) для тех, кто находится на более высоких уровнях. Ресурсы движутся с последних уровней на первый, а оттуда в обратном направлении движутся инновации. Структура и связи в такой структуре могут быть как иерархическими, так и сетевыми. Важными функциональными характеристиками экосистемы являются устойчивость (гомеостаз), динамика и зрелость, связи (действенная схема потоков информации, энергии, вещества) [233].

В деловой среде в настоящее время наблюдается ускорение процессов. В целом, без учета отраслевой и рыночной специфики, деловой цикл протекает в два раза быстрее, чем прежде, чему способствуют глобализация, развитие технологий и обратная связь от общества в социальных медиа [236], а также рост внимания общества к вопросам экологии и климата. Это в свою очередь повышает требования к скорости инновационных процессов и формирует вызовы для инновационной деятельности, которая смогла бы ответить на вызовы природы, национальных обществ и человечества в целом. Возникают стимулы для развития различных экосистем, в которых включаются заинтересованные представители бизнеса и общества, а также государственных и прочих организаций. В условиях трансформации привычной бизнес-среды и возникновения новой структуры, экосистемы, происходит в процессе эволюции формирование сетевой структуры для взаимодействий и меняются бизнес-модели и стратегии экономических агентов (рис. 4.49).

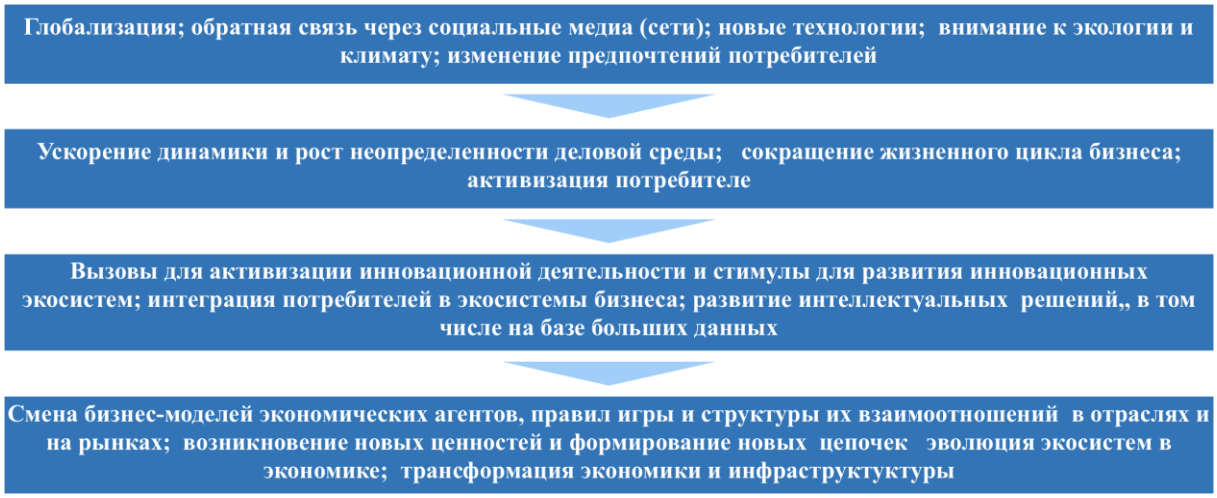

Рис. 4.49. Стимулы для развития инновационных экосистем
(составлено с использованием [236])

Для какого-либо отдельного бизнеса инновационная экосистема является одной из моделей организации и управления, конкурирующей с другими (вертикально-интегрированной организацией, иерархической цепочкой поставки, открытым рынком), состоящей преимущественно из независимых участников и имеющей следующие характеристики [234, 235]:

− блочное (модульное) строение;

− кастомизация (адаптивность к индивидуальным потребностям);

− принцип многосторонних отношений (мультилатерализм);

− координация;

− динамичность и эволюционное развитие.

Модель экосистемы востребована бизнесом в тех случаях, когда [237]:

− окружающая деловая среда непредсказуема и одновременно легко поддается воздействию, что стимулирует создание коллабораций, чтобы упорядочить (сформировать) производство какого-либо товара/услуги;

− индивидуальные компоненты, составляющие решение экосистемы, могут быть просто и гибко объединены, при этом необходима координация, чтобы определить участников, их роли и распределение задач;

− существуют выгоды, которые дает экосистема при использовании внешних возможностей, ресурсов, масштабировании, устойчивости к возмущениям и т. д.

Обычно выделяют два основных типа экосистем в бизнесе: создание или поставка продукта/услуги при координации различных участников; транзакционная площадка, где действуют партнеры или взаимосвязанные участники [237]. При развитии экосистемы, увеличении численности ее участников, объединении с экосистемами других бизнесов возникает структура смешанного типа, в которой и создаются продукты, и осуществляется обмен, а структура связей становится сложной.

По аналогии с теорией жизненного цикла в развитии инновационных экосистем выделяют несколько стадий развития, пока она проходит путь от зарождения до зрелости и упадка или самообновления (табл. 4.9) [233, 234].

В биологических системах действуют множество механизмов саморегулирования, включая механизм конкуренции за территорию между представителями одного вида и взаимосвязанный механизм регулирования численности каждого вида. Аналогичные процессы протекают и в экономических экосистемах, эволюция которых протекает под воздействием рыночных механизмов, правил и институтов. Режим наибольшего благоприятствования возникает в ситуации, когда можно согласовать интересы всех ключевых участников этого процесса, включая природу, и тогда возникают условия для гармоничного развития и эволюции экосистемы инноваций.

Опыт теории реформ показывает, что в таких случаях необходимо двигаться вдоль перспективной институциональной кривой, своевременно согласуя интересы ключевых экономических агентов, проводя регулярные переговоры и уточнение стратегии, правила игры, инструменты и распределения выигрышей [60].

Таблица 4.9

Стадии эволюции инновационной экосистемы в экономике и бизнесе

	Бизнес		Экономика
	Изменения в кооперации	**Изменения в конкуренции**	**Системные изменения**
Рождение	Работа с потребителями и поставщиками для определения новой ценности, создаваемой на основе выбранной инновации	Защита своих идей от конкурентов, предлагающих нечто сходное рынку. Объединение ведущих покупателей, ключевых поставщиков и важные каналы	Уже существующие элементы ИЭС устанавливают друг с другом взаимосвязи. Новые участники сети изначально взаимодействуют с теми членами ИЭС, которые имеют наибольшее количество связей и определенную «значимость» в сообществе
Экспансия (Рост)	Создание новых предложений на большом рынке совместно с поставщиками и партнерами с целью масштабирования и достижения максимального покрытия рынка	Отмена альтернативных улучшений подобных идей. Подтверждение соответствия стандартам рынка для данного класса через доминирование в ключевых сегментах рынка	По мере наращивания связей происходит резкое увеличение числа желающих присоединиться к уже имеющимся в ИЭС участникам. Таким образом, образуется безмасштабная сеть, состоящая из элементов ИЭС. В случае отсутствия сдерживающих («лимитирующих») факторов наблюдается экспоненциальный рост участников. Однако фактически кривая роста числа участников принимает форму S-образной кривой
Лидерство (Зрелость)	Разработка видения будущего для увлечения партнеров и поставщиков совместно продолжать работу для улучшения конкурентного предложения	Поддержание сильной торговой позиции в отношениях с участниками экосистемы, включая ключевых потребителей и ценных поставщиков	Замедление роста видов деятельности служит сигналом к продвижению в сторону зрелости

Быстрое развитие инновационных направлений в разных отраслях экономики, в частности, в области финансовых технологий, подняло такую проблему, как своевременное развитие и адаптация регулирования и правил игры. Получили развитие такие специфические инновационные системы, как регуляторные песочницы, где происходит отбор перспективных направлений развития законодательства и лучших регулятивных практик,

создающие для дальнейшей коммерциализации и продвижения инноваций благоприятные условия. Развитие инноваций в области финансовых технологий, которое идет в конкурентной среде в глобальном масштабе, позволяет сделать следующие важные для последующего развития инновационных экосистем в электроэнергетике выводы [238]:

− конкуренция юрисдикций играет важную роль для развития инноваций;

− страны стремятся создать наиболее благоприятные условия для привлечения инновационных компаний и их компетенций;

− изменение регулирования требует комплексного подхода: кроме «регулятивных песочниц» необходима среда для взаимодействия регуляторов и инноваторов;

− фокус для регуляторов – отработка устойчивых процессов и моделей отношения субъектов, а не внимание к самим технологиям (это сфера самих инноваторов);

− регуляторам режим «песочницы» часто помогает еще больше, чем самим инноваторам, чтобы разобраться с новой сферой;

− инноваторам необходима консультационная поддержка регуляторов;

− регулирование все больше превращается в сервис;

− конкуренция обеспечивает здоровое развитие рынка, преференции и тепличные условия его разрушают, потому особые режимы для инновационных ниш могут создаваться лишь на основе тщательного отбора, при наличии достаточного уровня контроля и мониторинга;

− для многих инновационных решений тестирование режимов трансграничности является важным условием для дальнейшего продвижения технологий и развития международных стандартов;

− возрастает роль алгоритмизации процессов и перевода правил и процедур в машиночитаемый формат, развития стандартов, которые обеспечивают бесшовность процессов, в том числе трансграничных.

4.3.1. Особенности экосистем инноваций в электроэнергетике

Основные направления инновационного развития в электроэнергетике

Создание инновационных экосистем в электроэнергетике стало востребованным в условиях многостороннего трансформационного процесса, развернувшегося на современном этапе. Поскольку развитие электроэнергетики в ведущих западных странах идет под существенным влиянием потребителей, многие инновационные направления в энергосистеме направлены на создание новой ценности для клиентов.

Направление развития большинства инновационных экосистем в электроэнергетике в настоящее время: интеграция потребителей и развитие чистой энергетики, предложение новых ценностей потребителям. Эти предложения появляются в инновационных нишах и по мере развития

и распространения трансформируют энергосистемы и рынки, правила игры в электроэнергетике и в экономике в целом. Таким образом, развитие инновационных экосистем в электроэнергетике оказывает активное влияние на изменение окружающей среды (рис. 4.50).

Глобальный уровень	Тенденции развития электроэнергетики	Тенденции развития экосистем в электроэнергетике
• новые технологии и цифровизация • внимание к экологии и климату • энергоэффективность • энергопереход	• развитие распределенной генерации и ВИЭ • распространение умных решений • гибридные рынки энергии • децентрализация производства энергии и развитие ко- и три генерации • рост требований и изменение предпочтений потребителей	• интеграция потребителей и инновационных сегментов энергетики в энергосистемы • развитие чистой энергетики; трансформация традиционных энергосистем и рынков • изменение институтов в экономике и обществе • снижение негативных экстерналий

Рис. 4.50. Стимулы для развития инновационных экосистем в электроэнергетике

В исследовании Cleantech Innovation Index (GCII) 2017 г. определены три наиболее важных фактора, влияющих на появление и развитие инновационных экосистем, связанных с чистой энергетикой: способность адаптироваться к растущему спросу на ВИЭ; соединенность стартапов с мультинациональными корпоративными структурами, государственные закупки; сотрудничество с зарубежными агентами для стимулирования стремительного и широкого внедрения технологий чистой энергетики [242].

Технологический переход в других сегментах экономики и развитие инновационных экосистем в электроэнергетике

В условиях энергоперехода к чистой (низкоуглеродной) энергетике в ведущих странах, стремящихся быть лидерах инновационной деятельности, происходит диффузия инновационных разработок в разных традиционных сегментах экономики, и вокруг электроэнергетики формируется многообразие инновационных экосистем по таким направлениям, как распределенная генерация и ВИЭ, альтернативное топливо, материалы для низкоуглеродной энергетики, электротранспорт, энергосистемы умных городов и зданий, энергоэффективность, управление спросом, услуги «за счетчиком», Интернет вещей, транзактивная энергетика, облачные платформы и маркетплейсы для электроэнергетики, мониторинг промышленного производства энергии, интеграция электротранспорта в энергосистемы, маркетплейсы, новые сервисы и т. д.

Направления исследований выходят за рамки задач, непосредственно связанных с развитием электроэнергетической системы, часто они находятся в соединении с инновационными экосистемами в других отраслях (транспорт, городское хозяйство и т. д.), что дает синергетический эффект и новые ценности как для развивающейся электроэнергетики, так и для других сегментов экономики (табл. 4.10, рис. 4.51).

Таблица 4.10

Ключевые технологические тренды в инновационной электроэнергетике

Направление	Характеристики
Цифровизация инфраструктуры	Интеллектуальный учет Умные решения, искусственный интеллект, блокчейн Цифровые модели Микросети Большие данные и облачные решения Интернет вещей Интернет энергии Блокчейн
Глубокая децентрализация производства электроэнергии и развитие альтернативной энергетики	Распределенная генерация (в т. ч. ВИЭ) Когенерация, тригенерация Системы хранения энергии Модульные атомные реакторы малой мощности Применение водорода Новые материалы
Интеллектуальные управление и инжиниринг	Киберфизические устройства; распределенное управление Самодиспетчирование, самовосстановление, самонастройка Моделеориентированный инжиниринг Энергоменеджмент (energy management systems (EMS))
Широкое привлечение частных инвестиций	Инкрементальные инвестиции Распределение системного экономического эффекта Новые бизнес-модели Снятие барьеров, «вытягивающие» стандарты
Энергообмен как социальная практика	Открытые данные и сервисы, P2P-энергообмен; социальные сети, геймификация, влияние на ценности Энерговалюта Интернет вещей и приложения для е-коммерции
Комфортная среда	Умные решения для дома и энергоэффективности зданий Средства коммуникация для интегрированных в энергосистему потребителей Умные города и мобильная энергетика Решения «pay-as-you-go», «plug and play» и т. п. Двусторонние каналы связи участниками энергосистем и инновационных экосистем Клиентоориентированность Чистая энергетика и снижение негативных экстерналий
Традиционная генерация	Высокопроизводительные газовые турбины
Рынки и энергосистема	Гибридная структура рынков Интеграция распределенной и централизованной генерации, соседних энергосистем Интеграция потребителей и их энергосистем, новые правила, политики, регулирование изменения бизнес-моделей и стратегий энергокомпаний

** Составлено с использованием [69, 239, 240, 241]*

Рис. 4.51. Взаимосвязанные процессы инновационного развития в электроэнергетике и других сегментах экономики

4.3.2. Ключевые экономические агенты в инновационной экосистеме в электроэнергетике и процесс их взаимодействия

В современной инновационной экосистеме в электроэнергетике структура сложная, участники играют разнообразные роли, и связи между ними разнообразны, при этом процесс создания инновации и других продуктов динамично меняется по мере эволюционного развития экосистемы.

Первый уровень или ядро экосистемы в электроэнергетике включает университеты, отделения R&D компаний, инновационные стартапы, инновационные лаборатории и производителей, предпринимателей, бизнес и фонды, венчурные компании, финансовые организации, частных инвесторов, бизнес-ангелов, менторов, корпорации, государственные структуры, медиа, общественных деятелей (в том числе инфлюенсеры) (рис. 4.52).

По мере роста и перехода на следующие стадии развития в экосистеме появляются новые участники, которые играют в ней различные роли и участвуют в различных процессах, среди которых можно выделить следующие категории (табл. 4.11).

Во многих процессах ключевую роль играет компания-лидер, вокруг которой строится деятельность остальных, и ее бизнес-модель играет системообразующую роль для всей экосистемы.

Рис. 4.52. Первый уровень инновационной экосистемы в электроэнергетике (на примере США) [243]

Таблица 4.11

Основные категории участников инновационной экосистемы в электроэнергетике и процессов, в которых они участвуют

Категории участников	Категории процессов
Компания-лидер экосистемы (центр, вокруг которой строится экосистема) Исследователи-эксперты Университеты Инновационные компании и производители Предприниматели Спонсоры, бизнес-ангелы, банки, венчурные фонды, частные инвесторы Потребители Регуляторы Представители органов государственной власти (федеральной, региональной) и местного самоуправления Поставщики Промоутеры Менторы Партнеры	Создание инноваций Развитие инновационных продуктов Производство инновационных продуктов Формирование рынков и менеджерская деятельность Формирование сетей и механизмов взаимодействия в экосистеме и с внешней средой Определение ценности Обратная связь от потребителей Накопление знаний и информации Обучение Развитие механизмов эволюции экосистемы и поддержания ее устойчивости и жизнеспособности

* *[244, 245]*

Кроме того, важную роль играют государство (правительство, отраслевые регуляторы и т. д.) и финансовые компании, поскольку инновационные стартапы сталкиваются со многими барьерами, особенно на ранних

стадиях своего развития. В развивающихся странах, например, в Индии, где институциональные системы не имеют значительного опыта поддержки инновационной деятельности, это особенно актуально.

Основной процесс в инновационной экосистеме в электроэнергетике на ранней стадии ее развития

В прошлом компании в электроэнергетике не рассматривали инновации как основную движущую силу рынка, в основном фокус в этой сфере был направлен на совершенствование технической системы, в первую очередь повышение энергоэффективности и модернизацию оборудования в секторе генерации и в сетях [239]. Либерализация отрасли и развитие технологий способствуют изменению позиции энергокомпаний по данному вопросу, происходит внедрение культуры инноваций в их стратегии, включая такие направления, как [239]:

− уникальное понимание потребностей своих клиентов, включая отдельных лиц и коммерческих предприятий;

− творческий подход к рынку;

− оптимизированные портфели продукции и услуг;

− наличие рыночных каналов для привлечения традиционных и новых клиентов;

− выявление тенденций на рынке и ответ или предвосхищение на них своими предложениями;

− гибкое изменение стратегии при изменении курса под воздействием изменения моделей покупательского поведения клиентов и развития технологий;

− использование инноваций как основного компонента стратегии выхода на рынок и увеличения своей доли рынка, коммерциализации технологий и предложений для рынка.

На первой стадии развития инновационной экосистемы, когда она создана, но еще незначительна по своим масштабам и результативности, основным процессом является процесс создание инновации и вывода ее в виде коммерческого предложения на рынок. Курс на клиентоориентированность и поддержание возможностей экосистемы и в дальнейшем производить инновации подразумевает обязательное наличие обратной связи от потребителей. Можно выделить следующие этапы (рис. 4.53).

Характеристики инновационной экосистемы в электроэнергетике на зрелых этапах развития

Характеристиками зрелости инновационной экосистемы электроэнергетики, как и в общем случае, можно считать:

− разнообразие видов деятельности участников;

− ценность предлагаемых продуктов;

− масштаб и численность участников;

– сложность сети каналов и механизмов взаимодействия;

– устойчивость и живучесть;

– наличие механизмов самообновления и обучения;

– глубокая интеграция в энергосистему и гармонизация правил игры в объединенной энергосистеме и экономике;

– снижение негативных экстерналий на развитие природной экосистемы.

Рис. 4.53. Этапы процесса в инновационной экосистеме в электроэнергетике на стадии ее раннего развития [243, 246]

Также у успешной инновационной экосистемы в электроэнергетике предполагаются такие свойства [245]:

– прозрачные механизмы коммуникаций между стартапами и инвесторами, бизнес-ангелами, венчурными фондами и корпорациями;

– развитие у инноваторов (в университетах и компаниях) навыков, необходимых на всех стадиях жизненного цикла инновационной экосистемы и финансирования, чтобы повысить эффективность взаимодействия с инвесторами;

– помощь крупным корпорациям в определении критических технологий для пилотных проектов, партнерств, поглощения, других проектов или в более быстром развитии инноваций;

– помощь венчурным фондам в своевременном и эффективном нахождении лучших компаний для их инвестиционных портфелей;

– популяризация выигрышей от инноваций стартапов и корпораций в средствах медиа;

– создание экосистем, создающих драйверы и направления диверсификации для экономики, позволяющие компаниям успешно развиваться и повышать свою конкурентоспособность.

Быстрое развитие технологий, структурные и стратегические изменения в отрасли затрудняют оценку экономических эффектов от развития технологий и распространения инноваций, и это будет продолжаться в ближайшие годы. С учетом перехода к чистой энергетике и ориентированности на клиентов, оценка создаваемой ценности претерпевает изменения, в ней появляются компоненты для учета внешних экстерналий (социальных, экологических). Однако насколько успешно такие оценки позволят построить процесс управления бизнесами, экономикой в целом, остается открытым вопросом, также как и ответ природы на гипотезу о том, что выбранный курс развития технологий обеспечит условия для стабилизации климата.

Взаимодействие в электроэнергетической экосистеме значительно усложняется, формируются потоки больших данных, значительно больше управляющих процессов приближены к реальному времени, система управления становится более децентрализованной. В этих условиях инновационная деятельность происходит более динамично, разнонаправленно и насыщенно. В новых условиях необходимо решать проблемы безопасности, неприкосновенности частной жизни (приватность) и идентичности активов [241]. Это поднимает вопросы кибербезопасности, стимулирует использование таких технологий, как блокчейн, а также выдвигает новые задачи в области регулирования и развития права.

Развитие механизмов взаимодействия с потребителями

В течение десяти лет ожидаются следующие изменения качественных характеристик потребителей электроэнергии [247]:

− новая социализация (соцсети и мобильная связь, большие данные, интеллектуальный учет);

− доступный выбор поставщиков услуг, новых сервисов и товаров (в том числе чистой энергии), платежных опций;

− информированность и рост компетенций для управления своим энергоснабжением;

− рост требований и условий для долгосрочного сотрудничества с поставщиками услуг энергоснабжения;

− применение технологий, влияющих на энергетическую инфраструктуру (распределенная генерация, умные счетчики, интеллектуальные устройства и электромобили).

В этих условиях возникают разнообразные задачи в сфере коммуникаций и сотрудничества. Для реализации задач по кастомизации и клиентоориентированности энергокомпаниям и инновационным компаниям необходимы новые каналы связи и подходы для построения долгосрочного взаимодействия, в том числе сетевые партнерства; социальные медиа; мобильные приложения; таргетированные (целевые) группы; массовые опросы. Это требует значительных инвестиций от энергокомпаний, при этом затраты на такую трансформацию могут увеличить стоимость услуг

для потребителей, что в большинстве стран рассматривается как проблема, поскольку это негативно отражается на конкурентоспособности, экономике и качестве жизни.

При этом необходим глубокий уровень проникновения телекоммуникационных и интернет-технологий, то есть уровень цифровизации экономики и развитие экосистем высокотехнологичных компаний в секторе связи должно находиться уже на зрелых уровнях развития.

Категории потребителей в инновационных экосистемах в электроэнергетике

Потребители в разной степени: а) заинтересованы в изменении взаимодействий с энергокомпаниями; б) готовы к инновациям; с) обладают потенциалом для адаптации и участия в инновационной деятельности.

Основные факторы, которые обуславливают выбор стратегии активного поведения потребителя энергии во взаимодействии с энергосистемами [66]: тип потребителя; личные предпочтения, отражающиеся на графике нагрузки; наличие источника генерации; цена электроэнергии, принцип ценообразования; технологические возможности; ожидаемые выгоды.

Для определения характеристик участия потребителя в инновационных экосистемах важны также образование, уровень дохода, семейное положение, профессиональная деятельность, опыт управленческой деятельности, психологический тип, культурное развитие, адаптивные возможности, что формирует широкий спектр подгрупп с разными групповыми характеристиками.

При этом индивидуальные особенности каждого могут отличаться от групповых, что формирует широкий спектр сценариев по участию потребителей в инновационных экосистемах в электроэнергетике, а также в трансформирующихся энергетике и экономике в целом.

В условиях развития инновационных экосистем в электроэнергетике можно выделить четыре основных типа потребителей: довольные, беспокойные, энергоменеджеры, генераторы (просьюмеры) [247].

Следует отметить, что потребители часто относятся к смешанному типу, в котором проявляются характеристики двух–трех из приведенных выше категорий. В частности, в западных странах, особенно в США, широко распространено движение за чистую (низкоуглеродную) энергетику, и многие конечные потребители и корпорации добровольно принимают на себя обязательства по потреблению электроэнергии ВИЭ, при этом сами становятся владельцами солнечной, ветровой, альтернативной генерации, а также микрогенерации (мультигенерации) на газе, биотопливе и вторичных энергоресурсах.

Эволюционное развитие экосистем и увеличение их масштаба приведет к рассмотрению и других категорий потребителей, которые не попадают в фокус внимания на первых стадиях ее существования.

В частности, существует дополнительная категория недовольных потребителей, где можно выделить три подгруппы: обладатели собственной генерации, которые не могут присоединиться к энергосистеме из-за административных и технических барьеров; потребители с некачественным уровнем энергоснабжения, не имеющие финансовой, правовой, территориальной возможности выбора поставщика товаров и услуг; неплатежеспособные потребители, вынужденные ограничивать потребление энергии (энергетическая бедность). И в этих группах может существовать нереализованный потенциал по активному участию в инновационных энергосистемах, в том числе тот, который есть у индивида, но отсутствует в усредненных характеристиках группы.

Кроме того, в этих же группах могут проявляться какие-либо ограничения у экономических агентов, не позволяющие им без посторонней помощи успешно справляться со стандартными задачами в условиях трансформациях в силу возраста (юный или старый), особых жизненных ситуаций (природные катастрофы, болезни, безработица, переезд и т. п.), низкий уровень дохода (в том числе у учащихся) и компетенций для адаптации и др.).

Для выделенных групп важную роль играет качество институтов, инструменты и направления социально-экономической политики, и способность общества решать проблемы устойчивого развития, возникающие между такими направлениями, как рост эффективности и доступность энергии. Это ставит вопросы в областях культуры и ценностей общества далеко за пределами энергосистем и является вызовом в области политики и социально-экономического развития. При невнимании к этим вопросам развитие энергосистем, в том числе развивающихся инновационных экосистем, будет сталкиваться с конфликтами социально-экономического характера, что будет выводить на менее устойчивые треки развития и направления трансформации социотехнического режима, включая энергорежим и энерголандшафт, а также тормозить рост инновационных экосистем.

4.3.3. Мотиваторы для взаимодействия экономических агентов в инновационной экосистеме в электроэнергетике

Внешние вызовы в экономике на развитие инновационных тенденций в электроэнергетике

Следует также отметить, что ряд инновационных отраслей, взаимосвязанных с цифровой экономикой, заинтересован в энергетическом переходе и развитии инновационных экосистем в электроэнергетике, ориентированных на интеллектуальные решения и новые сервисы для клиентов на базе телекоммуникационных каналов связи, поскольку это обеспечивает им расширение собственных товарных и сервисных рынков. В этой группе крупнейшие телекоммуникационные и интернет-компании, а также техно-

логические компании, связанные с развитием Интернета вещей, которые активно стремятся влиять на трансформационные процессы в экономиках в целом, обеспечивая себе участие на технологической платформе региональной или мировой экономики в процессе смены технологического базиса. Кроме того, эта группа компаний традиционно активно выступает по вопросам защиты окружающей среды и оказывает серьезное воздействие на формирование поддержки курса к чистой энергетике.

Многие крупные финансовые организации и международные институты развития под давлением политиков и сформировавшегося общественного движения в поддержку чистой энергетики приняли стратегический курс на стимулирование развития низкоуглеродных решений в экономике [248]. Это создает давление на традиционные энергокомпании и энергосистемы, а также оказывает сильное влияние на энергетическую политику в странах, преимущественно развивающихся, испытывающих дефицит капитала для финансирования развития электроэнергетических систем или всего своего социально-экономического развития, или выбор курса развития [241].

Важное значение также играет скоординированная поддержка институтов развития [249], особенно в случаях, когда институциональная система недостаточно эффективная или проявляются кризисные противоречия в социально-экономическом развитии.

Кроме того, включение темы инновационного развития электроэнергетики в ключевые направления стратегического развития страны позволяют лучше структурировать вопросы структурной трансформации социально-экономической системы, создать для развития инновационных экосистем благоприятные возможности и создать инструменты для управления рисками в условиях изменения климата и мировой экономики.

Дополнительные стимулы для развития инновационных направлений в электроэнергетике возникают в результате установления государством требований к локализации оборудования (ВИЭ, интеллектуальной энергетики и т. д.).

Мотиваторы для потребителей в инновационных экосистемах

Важным стимулом для участия экономических агентов в инновационных энергосистемах играет то, как изменится выигрыш.

В большинстве инновационных решений в электроэнергетике подразумевается, что потребитель получает более надежное энергоснабжение при снижении рисков, рост энергоэффективности и снижение затрат (по сравнению с решениями в традиционной энергетике), новые услуги; повышение комфортности и улучшение состояния окружающей среды. Все это способствует повышению качества жизни и устойчивому развитию.

Среда для принятия решений потребителями содержит высокий уровень неопределенности, а также административные и технические барьеры, и ключевую роль для их вовлечения в инновационные системы играют стимулы, которые создаются государственной политикой и регуляторными решениями, в том числе [2]:

– налоговые льготы для применения ВИЭ и умных технологий;

– юридическая, консалтинговая и прочая поддержка на базе специализированных ассоциаций;

– навязывание интеллектуальных решений, чистой энергетики и энергоперехода в целом через законопроекты, регламенты, штрафы и льготы, пиар- и маркетинговые мероприятия;

– реализация государственных и муниципальных программ по развитию чистой энергетики с участием потребителей;

– а также бизнес-решениями компаний, предлагающих инновационные продукты и долгосрочные формы сотрудничества.

Драйверы для эволюции инновационных экосистем в электроэнергетике

Эволюция экосистем находится в позитивной взаимосвязи с действиями механизмов регуляции и саморегуляции, и не всегда эти связи проявлены, линейны и краткосрочны (рис. 4.54).

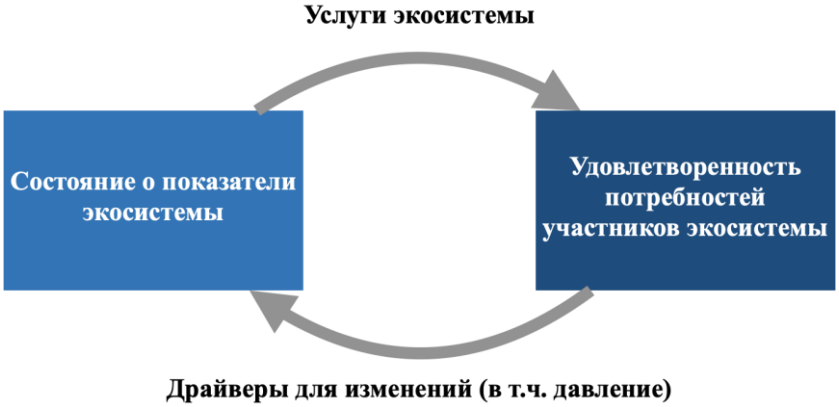

Рис. 4.54. Концепция механизма эволюции инновационных экосистем [250]

Регулирующее воздействие оказывают участники экосистемы. В случае природной экосистемы совокупность этих воздействий создает механизмы саморегуляции. При участии человека возникает более сложная система регулирования, состоящая как из природных механизмов, так и из деятельности людей.

Также необходимо отметить, что проблема изменения климата и окружающей среды сложна. Природные процессы саморегуляции недостаточно изучены, и прогнозы динамики климата, на которых построены стратегии энергоперехода, могут содержать существенные ошибки и не-

точности. Большинство стран опирается на стратегии развития электроэнергетики сроком на 15–20 лет. По объективным причинам возникает неопределенность для долгосрочных стратегий развития. И это формирует стратегический вызов быть готовыми к коррекции стратегий развития, политик, правил, трендов инновационного развития, если сделанных при развитии курса на чистую энергию и снижении углеводородного следа предпосылок окажется недостаточно для решения проблемы устойчивого развития и поддержания сбалансированности природного развития.

Кроме того, изменение климата в разных регионах планеты идет поразному. Инновационные разработки ведущих стран охватывают не все направления. В качестве примера можно отметить, что разработки электромобилей и многих видов интеллектуальной техники (смартфоны, измерительные устройства и т. д.) ориентированы на использование в регионах с достаточно мягким климатом, а их применение в условиях суровых зим и низких температур пока остается ограниченным. И это открывает новые ниши для инновационных разработок (рис. 4.55).

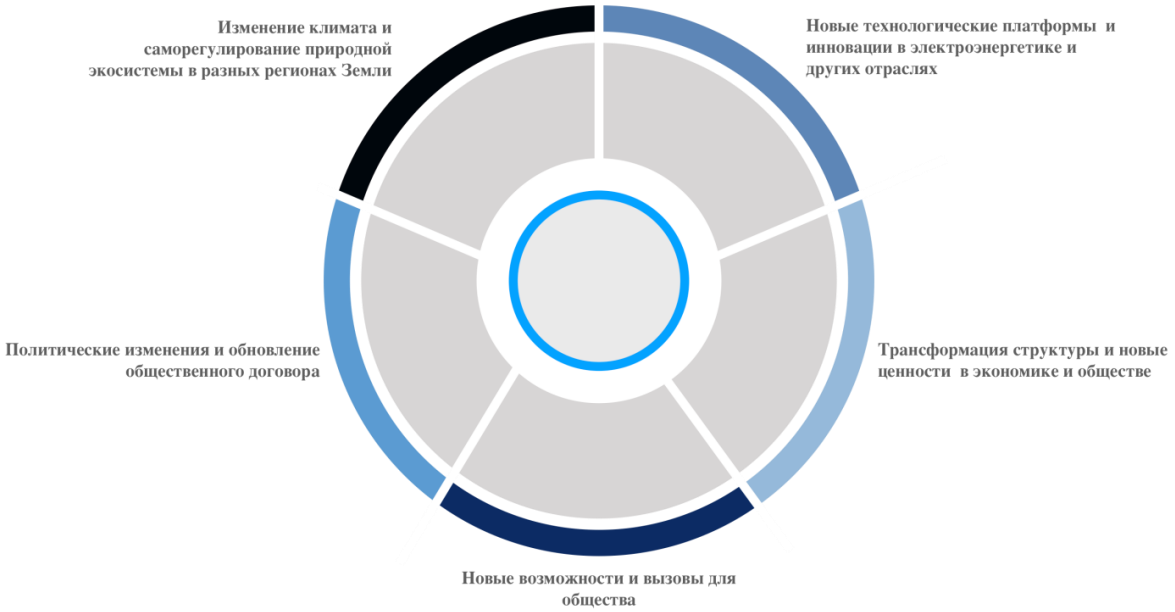

Рис. 4.55. Взаимосвязанные процессы эволюционного развития электроэнергетики, общества и природы на современном этапе развития

Мотиваторы для изменения стратегий энергокомпаний

Переход к новому технологическому базису и тренды развития инноваций в электроэнергетике формируют задачу для менеджеров энергокомпании не фокусироваться, как прежде, на техническом и экономическом вопросах производственной деятельности и инвестициях в наращивание мощностей, но также расширить сферу внимания на сферу взаимодействия как с инноваторами, потребителями, защитниками окружающей среды, обществом в целом.

По некоторым оценкам, это будет двигать логику бизнес-модели и стратегии традиционной энергокомпании от продаж стандартизированного товара (киловат-часов и мощности) к новому варианту бизнес-модели, основанной на [246, 247, 251]:

− продажах услуг (освещение, отопление/охлаждение, информация, мобильное энергоснабжение), маржинальных доходах, креативном ценообразовании, долгосрочном партнерстве, искусном выборе технологий;

− репутации брендов;

− отношении с потребителями;

− каналов доступа к инновациям и их выводу на рынок и распространению;

− фронтальном внедрении инноваций, включая такие задачи, как:

▪ пересмотр системы ценностей;

▪ выработка новых рутин в деятельности персонала и менеджмента компаний на базе креативности;

▪ развитие корпоративной культуры с учетом трендов на долгосрочные отношения (партнерство, клиентоориентированность, взаимодействие с регуляторами, экологичность), новой интеллектуальной системы управления, поощрение инноваций и предпринимательства;

▪ смена производственной структуры в условиях курса на чистую энергетику;

▪ внедрение системы обучения и адаптации менеджмента и персонала;

▪ развитие навыков сканирования рынка и привлечения новых постоянных клиентов и партнеров;

▪ искусство в выборе и применении технологий.

В формирующихся условиях инновации будут ключевым фактором отличия компаний-лидеров рынка от прочих компаний в этой сфере [239].

4.3.4. Развитие инновационных экосистем в интеллектуальных энергетических системах

Энергетический сектор в настоящее время трансформируется из традиционной интегрированной вертикальной цепочки в сеть взаимосвязанных экономических агентов – экосистему. Это в свою очередь приводит к необходимости пересмотра механизмов организации и координации взаимодействия таких участников со стороны государства, как ключевого участника сектора.

В настоящее время наблюдается фрагментированность государственных усилий в сфере инновационного развития энергетического сектора – есть ряд утвержденных нормативно-правовых актов («Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года», дорожная карта «Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях ТЭК»,

госпрограмма «Энергоэффективность и развитие энергетики»), но единая стратегия отсутствует [245]. Существует ряд отдельных проектов[13], но все они посвящены отдельным технологическим областям – «Разработка и внедрение цифровых электрических подстанций и станций на вновь строящихся и реконструируемых объектах энергетики», «Энергоэффективная подстанция».

Как уже было сказано ранее, в рамках интеллектуальных энергетических систем взаимодействие экономических агентов осуществляется в рамках так называемой экосистемы, где характер связей между ними носит многонаправленный характер. А учитывая происходящие изменения энергетического сектора России (внедрение интеллектуальных энергетических технологий; распространение нетрадиционных услуг наподобие энергосервиса и управления спросом; внедрение элементов «Интернета энергии» [245, 249]), можно утверждать, что он также находится в состоянии перехода к экосистеме взаимосвязанных агентов.

Факторами, подтверждающими данное утверждение, являются [249]:

− диверсификация требований потребителей к энергетической системе;

− изменение соотношений типов генерирующих установок;

− появление новых видов энергетического оборудования (которые в свою очередь позволяют потребителям использовать принципиально новые функции);

− упрощение интеллектуального управления энергетическими системами.

Тем не менее, развитие инновационных экосистем в энергетическом секторе требует соответствующей поддержки со стороны государства. Часто именно государство является ключевым идеологом и координатором взаимодействия участников, – особенно учитывая характер данной отрасли и ее стратегическую важность для экономики Российской Федерации.

Развитие механизмов координации и взаимодействия экономических агентов должно одновременно решать две задачи: перенимать успешный опыт выстраивания подобного взаимодействия в других странах (ряда ошибок можно избежать, используя чужой опыт); учитывать особенности энергетического сектора России (в том числе наследие ГОЭЛРО). То есть необходимо одновременно создавать условия для успешного функционирования новых игроков и координировать деятельность крупных энергетических компаний, априори обладающих существенной рыночной властью.

Важно также отметить, что механизмы координации деятельности традиционных и новых игроков могут существенно отличаться – последние зачастую не приемлют директивные методы и предпочитают функционировать в максимально рыночных условиях (обратная ситуация противоречит самой идее подобных сервисов – они нацелены на непокрытых традиционных игроков сегменты рынка).

[13] Данные проекты в настоящий момент имеют статус «национальный».

Учитывая данную специфику, можно предложить три варианта координации деятельности традиционных экономических агентов (в зависимости от степени их вовлеченности в новые виды деятельности) (рис. 4.56). От этого существенным образом будет зависеть будущая структура сектора и распределение ролей в ней.

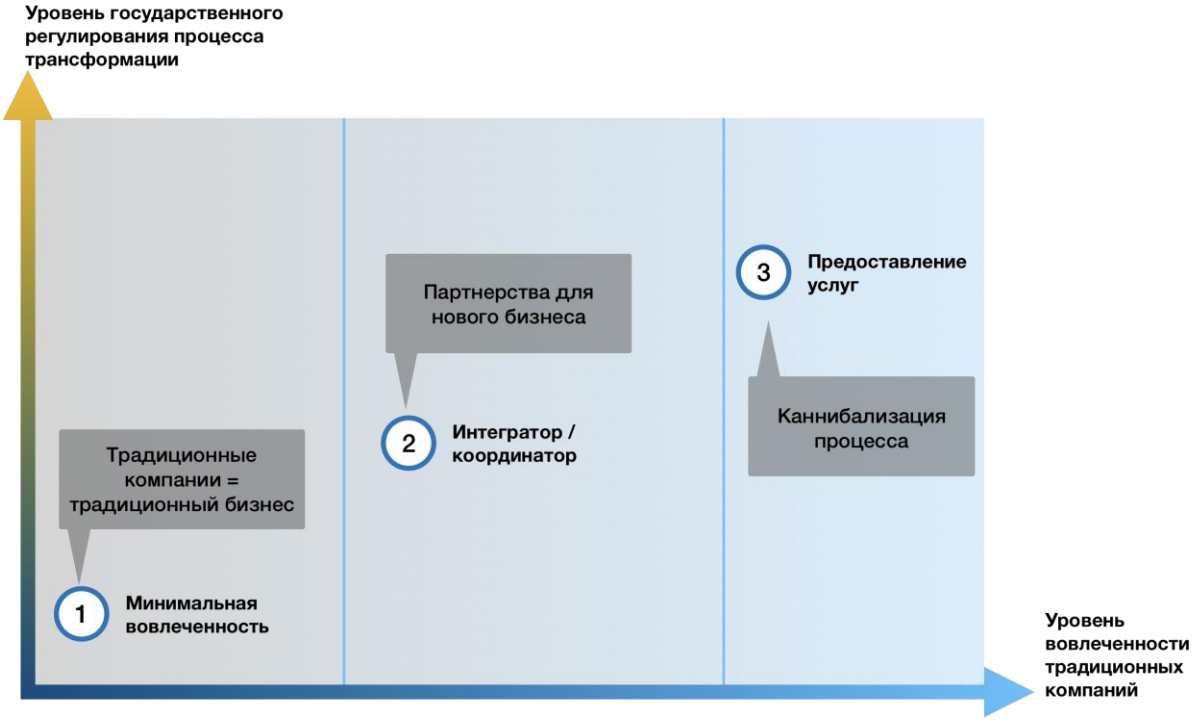

Рис. 4.56. Варианты участия традиционных компаний в новых видах деятельности в рамках ИЭС (составлено с учетом отдельных положений [242])

Если традиционные компании будут функционировать в рамках первой модели («минимальная вовлеченность»), то основными критериями их деятельности будут являться: надежность, стабильность ROS, обоснованность издержек. Данная ситуация выглядит маловероятной, но она в принципе возможна.

В случае если традиционные игроки сосредоточатся на реализации второй модели и будут выступать в роли партнеров для новых игроков, а основной задачей станет продвижение новых технологий, компании сохранят их текущие стандарты деятельности и будут адаптировать их к новым технологиям (это потребуется для успешного внедрения в текущую практику нового оборудования, упрощения взаимодействия различных систем, а также интеграции различных энергетических объектов).

В рамках третьей модели традиционным игрокам отводится главенствующая роль в процессе трансформации – вплоть до контроля над всей платформой ИЭС. Это не означает, что инновации не будут иметь место – просто они будут осуществляться только по «разрешению» традиционных игроков и в рамках данной платформы – они будут представлять собой ее отдельные компоненты.

Из приведенных выше вариантов наиболее подходящим для России кажется второй – он позволяет достичь баланса интересов максимально широкого круга заинтересованных сторон: государство получает возможность реализовать инновационную повестку и одновременно обеспечить должную надежность, традиционные игроки сохраняют свои позиции, новые участники получают возможность взаимодействовать с потребителями и покрывать специфические потребности, потребители получают большую полезность от услуги «поставка электрической энергии», которая теперь подразумевает определенный пакет услуг.

Важной особенностью Российской Федерации является тот факт, что уже существует задел для формирования подобной экосистемы – можно использовать опыт Национальной технологической инициативы [66] (рис. 4.57).

Рис. 4.57. Элементы экосистемы НТИ (составлено авторами на основании [66])

В рамках НТИ была выстроена сеть взаимосвязанных экономических агентов (как видно из рисунка, здесь присутствуют как компании, так и технологии, что соответствует современному характеру экосистем [252]). Основной идеей является комплементарность ресурсов и навыков участников, что позволяет создавать сетевые эффекты в виде успешных проектов, разработок и подготовки кадров нового типа. Важной отличительной особенностью данной инициативы является высокий уровень учета интересов участников – в отличие от традиционных директивных мер, методы координации деятельности НТИ носят скорее горизонтальный характер.

Таким образом, в части развития механизмов организации и координации деятельности экономических агентов в рамках ИЭС можно предложить следующий алгоритм, включающий в себя как необходимые условия стимулирования инновационного развития, так и особенности энергетического сектора Российской Федерации:

− определить круг участников процесса, а также степень их вовлеченности в процесс трансформации;

− провести так называемое «базовое исследование» текущего потенциала энергетического сектора – как с точки зрения уровня развития отдельных технологий, так и с точки зрения потенциала их взаимодействия в рамках единой политики;

− определить «видение» экосистемы – к какому целевому состоянию стоит стремиться;

− выявить ключевые драйверы развития экосистемы (какие элементы наилучшим образом смогут удовлетворить текущие потребности вовлеченных участников). Зачастую, несмотря на свою перспективность, определенную технологию не имеет смысла внедрять по причине того, что она потребует существенных временных и ресурсных затрат, но не создаст необходимый синергетический эффект;

− в процессе деятельности необходимо проводить периодическую оценку успешности процесса – это позволит постоянно контролировать трансформацию, а также вовремя корректировать направления действий в случае внешних изменений.

Описанная выше схема основана на ключевой идее согласованного и включенного процесса координации деятельности экономических агентов в рамках интеллектуальной энергетической системы.

4.3.5. Технологический и организационный базис перехода к экосистемному характеру развития

Текущая архитектура электроэнергетического сектора России берет свое начало в середине XX в. С тех пор она существенным образом не изменялась и в основном базируется на технологиях и принципах того времени (рис. 4.58).

Генерация в основном представлена крупными объектами (ТЭС) установленной мощности 100–1000 МВт, которые сосредоточены возле источников топлива или когенерационных заводов (которые расположены вблизи крупных потребителей тепла). Передача электрической энергии осуществляется посредством высоковольтных ЛЭП (150–500 кВ). Сети передачи разрабатывались иерархичным способом и имеют радиальную типологию. Распределение электрической энергии до конечных потребителей осуществляется через распределительные сети среднего и малого напряжения (10–100 кВ и меньше). Операционный контроль за передачей электрической энергии осуществляется централизованным диспетчером.

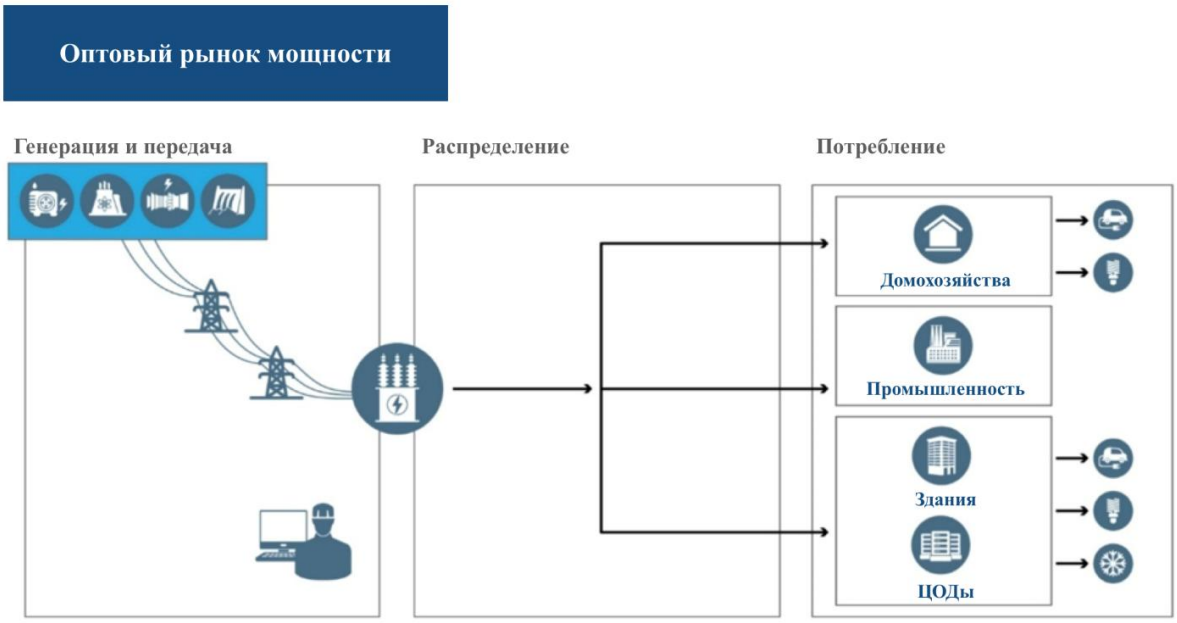

Рис. 4.58. Текущая структура электроэнергетики России (схематично) [253]

Технологическая архитектура современной электроэнергетической отрасли России основана на следующих принципах:

− четкое разделение ролей и функций между генераторами и потребителями;

− стандартизация требований к качеству и надежности;

− централизация и консолидация генерирующей мощности;

− однонаправленность передачи электрической энергии от производителей потребителям;

− централизованность диспетчерского управления;

− синхронизация графиков генерации и потребления электрической энергии;

− пассивность потребителей (отсутствие регулирования нагрузки).

Тем не менее, происходящий в настоящее время энергетический переход существенным образом изменит структуру отрасли и характер взаимодействия экономических агентов внутри нее. Индикаторами энергетического перехода выступают:

− переход к более гибкой архитектуре сети с большим весом распределенной генерации (основанной на ВИЭ); развитие систем хранения электрической энергии; развитие интеллектуальных сетей; активизация потребителей;

− переход к новому технологическому базису: малая распределенная генерация (включая ВИЭ); силовая электроника; накопители электрической энергии; технологии интеллектуального управления; цифровые платформы и большие данные; Интернет вещей; финансовые технологии;

– переход к новым бизнес-моделям: отход от традиционной цепочки создания ценности к демократизации электрической энергии; появление новых участников рынка; гибкость обмена электрической энергией;

– трансформация механизмов регулирования отрасли: переход от поддержки производителей электрической энергии (включая ВИЭ) и конкуренции на рынке к стимулированию активных потребителей, интеграции распределенной генерации и переход к гибкому рынку (рис. 4.59).

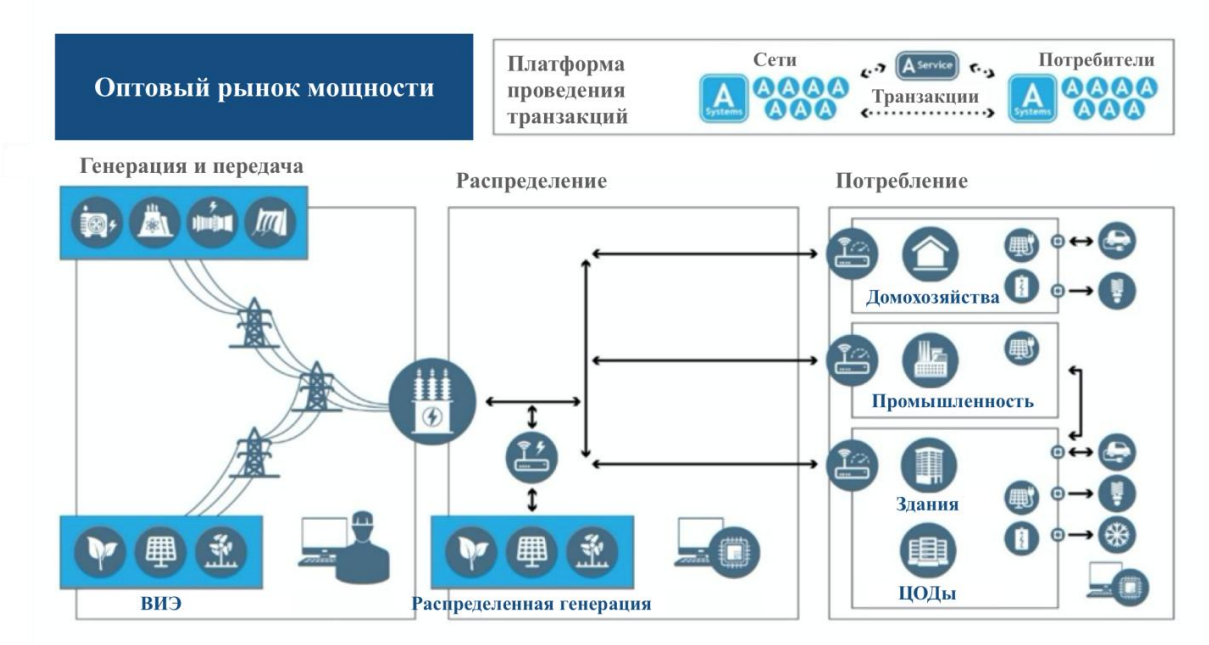

Рис. 4.59. Целевая структура электроэнергетики России (схематично) [253]

Одним из основных базисов новой технологической парадигмы станут энергопринимающие устройства на стороне потребителей, способные управлять потреблением электрической энергии; распределенные источники генерации и системы накопления у потребителей, которые смогут выдавать излишки электрической энергии в сеть.

По мнению специалистов Центра стратегических разработок [253], подобные изменения можно осуществлять путем постепенного перехода от текущей архитектуры к выстраиванию кластеров новой энергетики. Последние могут включать распределенные источники генерации и интегрированное информационное пространство. В рамках такой трансформации крупные потребители остаются в рамках старой парадигмы – на протяжении всего процесса перехода.

Основными принципами новой архитектуры станут:

– двунаправленный обмен электрической энергией в рамках распределительной сети; включение распределенных источников генерации; закольцованная типология распределительных сетей; применение контролируемых интерфейсов и систем контроля перетоков;

– децентрализованный подход к управлению системами различного масштаба; обеспечение надежности и стабильности поставок электрической энергии в условиях динамично изменяющихся технологических и экономических условий;

– платформенная организация рынков, включая дополнительные сервисы и современные информационные и финансовые технологии.

Развитие в подобном направлении поддерживается существующей государственной политикой в части развития инноваций в электроэнергетике. Существующая политика нацелена на решение сложившихся проблем.

В первую очередь это касается высокой степени износа основных средств. В результате снижения потребления электрической энергии в 1990-х гг. в совокупности с плохо регулируемым расчетом за электроэнергию электроэнергетические компании испытывали существенный дефицит собственных средств для обновления своей технической и технологической базы. В соответствии с генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики [254], существенная часть установленных мощностей введена в эксплуатацию в период до 1980 г., а на горизонте до 2025 г. свой ресурс выработают около 30 ГВт ТЭС.

Второй существенной проблемой является существующая практика перекрестного субсидирования (когда промышленные потребители платят повышенные тарифы за электрическую энергию, тем самым финансируя потребление электроэнергии населением).

Третьей существенной проблемой является существенная доля так называемой вынужденной генерации, когда объект перестает быть эффективным, но не может быть выведен из эксплуатации ввиду его важного социального значения для определенной территории. Как результат – его работа оплачивается по более высокой цене по сравнению с рыночной, издержки за которую накладываются на потребителей [255].

Четвертой важнейшей проблемой является существенное технологическое отставание отрасли от других стран. В настоящий момент применение современных технологий российскими электроэнергетическими компаниями довольно ограниченно. По результатам опроса Accenture [256], около 9 % компаний наблюдают увеличение выручки от применения новых технологий. Основной причиной столь низких результатов является тот факт, что 32 % руководителей энергетических компаний недостаточно доверяют данным, а 31 % респондентов заявили о невозможности измерить эффективность инвестиций в подобные технологии. Также только 5 % опрошенных заявили, что считают развитие экосистемы важным аспектом их деятельности.

Тем не менее, по мнению Accenture, существует ряд перспективных направлений развития, которые потенциально могут привести к росту выручки энергетических компаний (табл. 4.12).

Таблица 4.12

Анализ влияния различных современных технологий на выручку энергетических компаний

Группа технологий	Потенциальное влияние на выручку компании
Технологии роботизации	+8 %
Применение цифровых двойников	+8 %
Применение технологий дополненной и виртуальной реальности	+28 %
Применение технологий искусственного интеллекта	+12 %
Применение технологий больших данных	+27 %

** [256]*

Описанные выше изменения приводят к изменению структуры отрасли и состава ее участников. В дополнение к традиционным игрокам в отрасли начинают появляться новые – поставщики различных комплементарных продуктов и услуг. А сам характер взаимодействия экономических агентов приобретает формат экосистемы – гибкой системы, включающей различные группы игроков. Важной особенностью экосистемы является широкое разнообразие групп участников и форматов их взаимодействия.

В следующем разделе будет приведен подробный анализ существующих моделей инновационных экосистем в российском электроэнергетическом секторе, рассмотрены внешние условия, оказывающие на них влияние, а также проанализированы направления изменений стратегий энергетических компаний для соответствия изменяющимся требованиям.

4.3.6. Существующие модели инновационных экосистем в российской электроэнергетике

Существуют значительные особенности для развития инновационной электроэнергетики в России. В ней:

− слабее экономические институты, чем в развитых странах;

− нуждающаяся в модернизации и повышении эффективности и конкурентоспособности социально-экономическая модель с многочисленными хроническими проблемами;

− многообразная мощная культура, включая традиции выживания и развития в сложных условиях;

− есть опыт модернизационных рывков в развитии экономики при низком учете негативных или насильственных воздействий на социальную сферу;

− есть собственная научная, промышленная базы, нуждающиеся в значительной модернизации, лишь фрагментарно;

− обеспеченность энергоресурсами, в том числе для альтернативной и возобновляемой энергетики и многих других видов деятельности;

− недостаток источников капитала и долгосрочных инвестиций при хроническом оттоке капитала и противоречивом инвестиционном климате.

Инновационному развитию электроэнергетики уделялось большое значение в прошлом, на стадии индустриального догоняющего развития, и в чем были значительные достижения, в том числе:

− развитие теории и практики по вопросам развития сложных энергетических систем и управления ими (создание единой энергетической системы в стране и системы диспетчерского управления);

− лидерские позиции в развитии атомной энергетики;

− создание мощной инфраструктуры в электроэнергетической системе, но неравномерно развитой на обширной территории страны;

− значительный опыт коэволюционного развития экономики и электроэнергетики в условиях плановой экономики, централизованного управления и государственной собственности, в котором проявлялось недостаточное внимание к проблемам экологии, энергоэффективности;

− долгосрочные устойчивые механизмы взаимосвязанного развития экономики городов, промышленности и энергетики;

− широкое применение интегрированных решений (системы централизованного теплоснабжения на базе ТЭЦ);

− общая система стандартов и технических требований, зрелая нормативная база в электроэнергетике;

− развитая система высшего и специального образования по разным направлениям энергетики;

− высокий уровень компетенций и культуры для обеспечения живучести и устойчивости энергоснабжения и поддержания жизнедеятельности экономики и общества, созданный в условиях:

▪ ряда катастрофических и сложных испытаний страны;

▪ функционирования в условиях нескольких типов климата, в том числе резкоконтинентального и арктического;

▪ значительного разнообразия социоэкономических, культурных, урбанистических, природных различий на региональном и местном уровне;

▪ разнообразия условий в зонах энергоснабжения (централизованные, децентрализованные);

▪ применения широкого спектра технологий, включая централизованную и распределенную энергетику.

Это сформировало в профессиональном сообществе энергетиков высокий уровень культуры и компетенций: глубокое понимание своей миссии и ее гуманитарную направленность, профессиональную и техническую подготовленность, ответственность, обучаемость, креативность в сочетании с дисциплиной и развитыми механизмами отраслевого взаимодей-

ствия. Но с потребителями, особенно крупными промышленными, как с наиболее требовательными, взаимодействие электроэнергетиков было сложным и иногда конфликтным – в советский период преимущественно по техническим (частота, надежность) или стратегическим вопросам (размещение объектов энергетики, выбор технологии генерации); в условиях рыночной экономики – также по вопросам цен, издержек, присоединения к энергосистеме, дискриминации на рынке и правилам игры в целом.

Одновременно с этим в развитии электроэнергетики копились проблемы и проявлялись системные недостатки общества и экономики в целом: низкое внимание вопросам энергоэффективности и защиты окружающей среды, культурный кризис и ослабление институтов при переходе к рынку, недостаточное знание передовых тенденций развития мировой экономики и энергетики, низкий уровень клиентоориентированности, недооценка и невнимание к проблемам активного участия потребителей в энергосистемах, недоверие к рыночным отношениям или стремление выстроить правила игры в условиях рынка «под себя», нарушая интересы потребителей.

Также проявлялась общая профессиональная проблема мирового энергетического сообщества: недостаточное внимание вопросам экономики (фокус на технических решениях), к негативным экстерналиям.

Для России развитие инновационных направлений в электроэнергетике является вызовом для преодоления системного кризиса в развитии страны для возвращения в сферу исследований и деятельности, в которой накоплен и в настоящее время не используется значительный научный и практический потенциал.

Развитие инновационных экосистем в электроэнергетике, как и в развитых странах, может стать выходом на новый виток эволюционного развития, где на базе синергии эффектов от интеграции инновационных энергоэффективных и интеллектуальных решений, включения потребителей в активные участники энергосистем, развития благоприятной среды для взаимодействия, креативной и инновационной деятельности, происходит революционный качественный скачок в развитии электроэнергетики, экономики, общества и гармонизация отношений с природой.

Ландшафт инновационных экосистем

Описание существующих моделей инновационных экосистем в российской электроэнергетике невозможно без описания того ландшафта, в котором эти экосистемы функционируют. К текущему моменту на протяжении 3 лет в российской электроэнергетике функционирует новая концепция развития сектора – EnergyNet. Она реализуется под эгидой Национальной технологической инициативы [здесь и далее – НТИ], которая представляет собой «*…программу мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства России к 2035 г…*» [257]. Основной логикой развития в рамках

данной программы является опора на системные решения по выявлению ключевых технологий, правил финансового и кадрового развития, а также механизма вовлечения необходимых участников процесса изменений.

Базовыми принципами развития в рамках НТИ являются следующие:

− опора на взаимодействие не компаний, а сообществ заинтересованных людей (формируются рабочие группы, состоящие из представителей различных организаций – традиционных компаний, стартапов, университетов, исследовательских центров, различных деловых объединений, институтов развития, экспертных и профессиональных сообществ, а также различных органов власти);

− основное внимание нацелено на глобальные высокотехнологичные рынки;

− фокус на поддержке развития перспективных компаний различных сегментов экономики;

− сервисная роль государства в процессе инновационного развития.

НТИ включает большое количество различных рынков: автонет (развитие транспортных средств), маринет (развитие систем морского транспорта), сейфнет (развитие безопасных и защищенных компьютерных технологий, решения в области передачи данных, киберфизические системы), технет (формирование систем производства будущего), энерджинет (развитие энергетики), аэронет (развитие технологий воздушного транспорта), хелснет (развитие персонализированных медицинских услуг, новые способы лечения и профилактики заболеваний), фуднет (производство и реализация питательных веществ и конечных пищевых продуктов, а также сопутствующих IT-решений), нейронет (развитие человеко-машинных коммуникаций). Технологическим базисом НТИ является широкий спектр разнообразных технологий: большие данные, искусственный интеллект, распределенные реестры, беспроводная связь, мобильные источники энергии, производственные технологии, новые материалы, сенсорика, квантовые технологии, фотоника, нейротехнологии, генетика и биотехнологии [259]. Таким образом, можно заключить, что важным аспектом развития в рамках НТИ является поиск возможной синергии от использования наработок различных технологичных областей и рынков.

Кроме того, в структуре НТИ выделяются так называемые центры компетенций – инженерно-образовательные консорциумы, которые реализуют программы по решению возникающих сложностей в развитии описанных выше технологий.

Схематично существующий ландшафт инновационных экосистем можно представить в следующем виде (рис. 4.60).

Как видно из приведенной схемы, форма реализации инноваций существенным образом отличается от тех механизмов, которые применялись ранее. Пожалуй, наиболее заметным отличием является роль государственных органов, которые выступают равноправным партнером процесса реализации инноваций во всех рынках НТИ, а не лицом, принимающим решения.

Рис. 4.60. Ландшафт инновационных экосистем
(составлено авторами на основании [258])

Центральным элементом ландшафта является проектный офис, в чьи задачи входит организационная, техническая, аналитическая и информационная поддержка рабочих групп, а также проектное управление деятельностью участников. Проектный офис ведет реестр проектов, стимулирует разработку дорожных карт развития рынков НТИ, взаимодействует с государственными органами, координирует отбор проектов для предоставления поддержки.

Межведомственная рабочая группа принимает участие в разработке и оценке дорожных карт развития определенного рынка, в разработке методических рекомендаций по оценке проектов с целью выделения им мер поддержки, проводит оценку проектов с точки зрения целесообразности выделения финансирования. Глобальной задачей межведомственной рабочей группы является координация органов власти различных уровней.

Университет НТИ представляет собой нетрадиционное образовательное учреждение, нацеленное на подготовку кадров для будущей специализации участников экосистемы.

Органы государственной власти, будучи основными регуляторами деятельности различных отраслей, принимают участие в разработке и корректировке нормативно-правовых актов с тем, чтобы балансировать интересы участников экосистемы и общественные интересы развития, а также устранять необходимые барьеры для инновационного развития.

Экспертный совет ответственен за оценку проектов и принятия решений о выделении финансирования и других форм помощи в реализации. Он также принимает участие в разработке дорожных карт развития отрасли.

Проектный комитет принимает решения о целесообразности реализации заявленных на экспертизу проектов, о формах и источниках финансовой поддержки проектов, оценивает риски реализации проекта.

Рабочая группа является основным исполнителем проекта. Она занимается организацией взаимодействия участников – включая решение вопросов, связанных с устранением бюрократических барьеров. В состав рабочей группы входят представители участников экосистемы, представители НТИ, представители регуляторов. Основной целью функционирова-

ния рабочей группы является оперативное решение всех вопросов, связанных с дальнейшей реализацией проекта. Для каждого рынка создается своя собственная рабочая группа, что позволяет включить в ее состав профильных экспертов и тем самым повысить отдачу от процесса взаимодействия.

Различные фонды – участники ландшафта, исходя из названия, осуществляют финансовую поддержку тем участникам, которые в этом нуждаются.

Как видно из приведенного выше описания, формат взаимодействия экономических агентов носит абсолютно добровольный характер, а роль государства сводится к установлению общего направления развития и предоставлению софинансирования для реализации проектов. Подобная логика принципиально отличается от всех прошлых инициатив государства, когда оно по факту вынуждало компании осуществлять инновации и требовала отчитываться о ходе их осуществления.

Модели инновационных экосистем российской электроэнергетики

Как уже было сказано ранее, электроэнергетика (рынок EnergyNet) является частью ландшафта НТИ, поэтому анализ инновационной экосистемы должен учитывать влияние внешних факторов. В то же время характер взаимосвязанности участников экосистемы подразумевает согласованность их деятельности – в том числе технологическую. Учитывая высокую степень специфичности электроэнергетического сектора, технологическому компоненту взаимодействия необходимо уделять особое внимание. В то же время, принимая во внимание высокую стратегическую важность рассматриваемой области и высокий уровень вовлечения государства в его деятельность, отдельным направлением анализа является учет вопросов регулирования деятельности экономических агентов. Несмотря на свободу их объединения и взаимодействия, они по-прежнему продолжают функционировать в рамках складывающейся институциональной среды, а потому должны соответствовать установленным правилам.

В настоящее время в электроэнергетическом секторе, учитывая описанные выше тенденции, выделяются три важнейших направления дальнейшего развития [260]:

- надежные и гибкие распределительные сети;
- интеллектуальная распределенная энергетика;
- персональная энергетика и потребительские сервисы.

Указанные направления, по сути, представляют собой потребности, удовлетворение которых критически важно для успешного развития электроэнергетики. Учитывая высокую специфичность товара в рассматриваемом сегменте, данные потребности актуальны для широкого круга потребителей, но в особенности – для домохозяйств и мелких коммерческих потребителей, на которых в ближайшее время будет приходиться основной рост спроса.

Так, в рамках сегмента «надежные и гибкие распределительные сети» основными драйверами развития станут:

− стареющая инфраструктура и сопутствующая необходимость замены сетевых активов;

− развитие систем автоматизации и снижение их стоимости, что позволит снижать эксплуатационные расходы на поддержание сетевого хозяйства и повышать его надежность;

− рост спроса на электрическую энергию, что будет требовать соответствующего развития инфраструктуры;

− развитие распределенной генерации (в т. ч. на ВИЭ), что потребует изменения принципов функционирования сети.

В рамках сегмента «интеллектуальная распределенная энергетика» планируется сосредоточить внимание на следующих областях:

− технологии распределенной генерации, в т. ч. на ВИЭ;

− технологии хранения электрической энергии;

− технологии управления нагрузками, технологии виртуальных электростанций, технологии управления пиковыми нагрузками;

− системы управления и взаимодействия описанных систем.

Сегмент «персональная энергетика и потребительские сервисы» подразумевает развитие по следующим направлениям:

− микрогенерация и локальные системы хранения электрической энергии малой мощности;

− управление потреблением на уровне отдельных пользователей (домохозяйство/здание);

− приложения Интернета вещей, способных обменивать данными и подстраиваться под требования ситуации.

Данные направления по праву могут считаться отдельными экосистемами, поскольку подразумевают объединение различных участников и реализацию разнообразных проектов под общим началом – развитие определенного направления. Причем важной особенностью этих экосистем является неисключительный характер участия экономических агентов – к примеру, разработчики разнообразного ПО в силу своей возможной многопрофильности могут одновременно состоять в составе различных экосистем. В этом и заключается основная особенность анализа – мы отходим от изучения отдельно взятых организаций и сегментов традиционной цепочки создания ценности и фокусируемся на изучении формирований, направленных на удовлетворение специфической потребительской потребности.

Каждое из указанных направлений подразумевает свою специфику в части базовых технологий, а также определенной специализации участников. Технологической базой указанных направлений будут выступать следующие технологии (табл. 4.13).

Для развития указанных направлений необходимо объединение различных групп участников – из различных отраслей экономики. В то же время в структуре экосистемы в обязательном порядке должны присут-

ствовать представители государственных органов, способные реализовать необходимые изменения НПА. Так, для развития гибких распределительных сетей необходимо внесение изменений в правила нормирования надежности, а также соответствующие стандарты. Развитие распределенной энергетики также требует изменения соответствующих нормативно-правовых актов. Развитие персональной энергетики и потребительских сервисов потребует разработки стандартов обмена данными, а также модели потребительских сервисов.

Таблица 4.13

Технологический базис экосистем инноваций российской электроэнергетики

Направление развития (экосистема)	Ключевые технологии
Надежные и гибкие распределительные сети	Системы технологического управления распределительной сетью. Технологии цифровой сети
Интеллектуальная распределенная энергетика	Открытая платформа (включая различные технологические сервисы). Системы технологического управления локальными сетями. Энергороутер. Технологии генерации и хранения электрической энергии
Персональная энергетика и потребительские сервисы	Открытая платформа (включая различные потребительские сервисы). Потребительские приложения. Контроллеры потребления. Сенсоры и актуаторы

Как было указано ранее, для функционирования экосистемы критически важно наличие фокальных фирм – организаций, которые способны взять на себя роль координаторов процесса взаимодействия широкого круга экономических агентов в рамках экосистемы. К числу таких фокальных фирм в рамках экосистемы относятся следующие (рис. 4.61).

Как видно из рисунка, в состав основных участников входят крупные коммерческие организации, традиционные энергетические компании, научные и образовательные учреждения, институты развития, а также представители различных регуляторов.

В рамках экосистемы осуществляется реализация ряда проектов, результаты которых создадут синергетический эффект [261] (прил. И). Каждый из проектов имеет так называемого ответственного исполнителя и четко привязан с направлению развития всей экосистемы. При этом экономические агенты вольны конкурировать друг с другом вне границ экосистемы. Таким образом, основной целью их объединения является возможность совместной разработки, получения софинансирования на реализацию, решение административных и законодательных сложностей, а также обеспечение потенциального рынка сбыта для своей продукции.

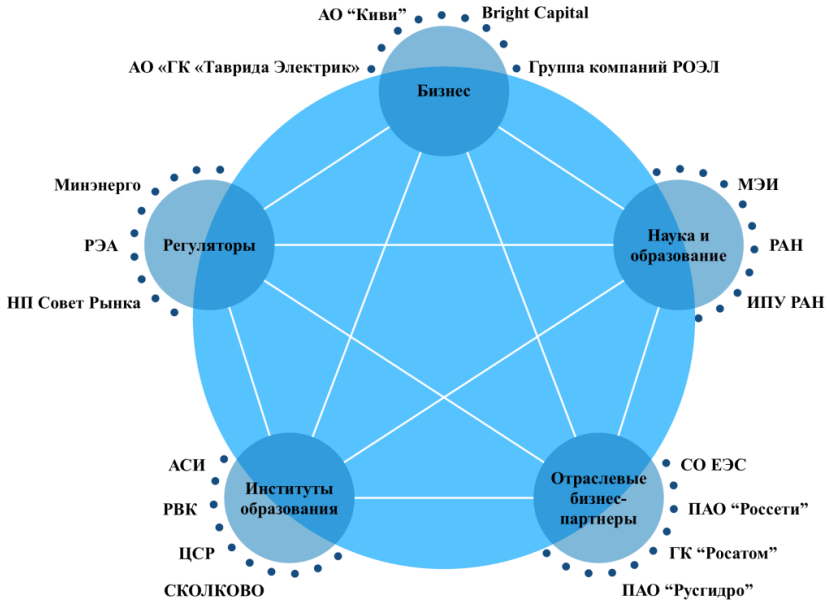

Рис. 4.61. Состав участников инновационной экосистемы EnergyNet

Как видно из приведенного выше анализа, основная деятельность в части реализации проектов осуществляется на основании связи с базовыми организациями экосистемы – фокальными фирмами, которые координируют деятельность разнообразных участников. В то же время вся деятельность осуществляется в рамках единого направления развития отрасли (описанные выше три ключевых сегмента).

Деятельность участников в рамках экосистемы по реализации отдельных проектов координируется через гибридную систему, включающую как неформальные, так и достаточно формальные механизмы. К формальным механизмам относятся указанные выше рабочие группы, которые сопровождают процесс реализации проекта на всех его стадиях и осуществляют информационную, нормативную и финансовую поддержку его реализации. К неформальным механизмам относится взаимодействие представителей различных организаций, входящих в состав экосистемы: совместная разработка технологических стандартов, совместное планирование деятельности, установление правил организации совместной деятельности (распределение ролей и ответственности), обмен опытом и информацией.

Изменения стратегий поведения экономических агентов

Для достижения успеха в условиях изменчивой внешней среды организациям необходимо соответственным образом подстраиваться под них. Исследование Accenture [262] показало, что наиболее успешными являются те организации, которые успешно внедряют в свою практику следующие навыки:

– *обмен данными и информацией*. Ведущие организации рассматривают обмен данными не как угрозу, а как источник конкурентоспособности. Компании все больше используют аналитику при принятии решений. Само качество анализа и выводов увеличивается по мере привлечения

внешних данных. Это требует существенного изменения точки зрения – что особенно сложно для отрасли, где информация является источником конкурентного преимущества;

– *обмен сотрудниками и талантами*. Подобная практика особенно важна в электроэнергетике, где персонал является ограниченным ресурсом и стареет. Наиболее успешные организации должны применять практики временного обмена сотрудниками с другими организациями. Подобный подход ускоряет доступ к опыту и разнообразным способностям. Он позволяет извлекать выгоды из экосистемы;

– *совместная разработка платформ*. Платформы являются важнейшим элементом экосистемы, позволяющим установить общие технологические стандарты для разнообразных ценностных предложений. Разработка платформ также требует изменения ментальности – только в этом случае участники экосистемы смогут получить наибольшие выгоды от совместного использования имеющихся наработок и дополняющих друг друга продуктов и услуг.

Описанные выше особенности в полной мере соответствуют тому, каким образом осуществляется взаимодействие в рамках анализируемой экосистемы российской электроэнергетики. Существующие ее участники разделяют мнение о важности указанных стратегий поведения, а новые участники, в том случае, если заинтересованы в участии, вынуждены корректировать свои стратегии поведения.

В современных условиях с высокой скоростью изменений отдельные экономические агенты не могут получать доступ, использовать или инвестировать в широкий круг доступных возможностей для извлечения выгод. Через объединение усилий большого количества участников в рамках экосистемы с разделяемыми ценностями можно извлечь выгоды из разрушения традиционной цепочки создания ценности, а перспективные решения могут быть быстро масштабированы.

Факторы, оказывающие наибольшее воздействие на взаимодействие экономических агентов

В области энергетики реализуется национальная технологическая инициатива «ЭнерджиНет», направленная на развитие рынка оборудования, программного обеспечения, инжиниринговых и сервисных услуг для разномасштабных комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики [263, 69].

Необходимо обратить внимание на следующие особенности:

– по отечественной традиции и в отличие от развитых стран, в постановке задач фокус делается на технических решениях [53], а не взаимодействии с потребителями, хотя косвенно речь идее о создании новой ценности для них;

– выработка стратегии развития и ключевых решений в инновационной сфере, в том числе в электроэнергетике, идет в условиях информаци-

онной асимметрии, когда зарубежный опыт энергоинформации рассматривается с позиций угроз, но недостаточно учитываются выигрыши, поскольку они на первых стадиях развития достаются потребителям, а не производителям энергии и углеводородного топлива;

− развитие собственной генерации потребителей стало сильным самозародившимся трендом, но он мало учитывается в стратегическом развитии из-за нежелательности этого направления для участников традиционной энергосистемы;

− большое значение придается вопросам развития новых экспортных направлений на базе ЭнерджиНет [263], но вопросы повышения энергоэффективности и выхода на траекторию устойчивого развития подразумеваются косвенно, а не рассматриваются явно и в первую очередь;

− в этой ситуации есть риски уйти на трек развития с узкими возможностями технократического развития производственного сектора, что в результате приведет к развитию инновационного направления при нераскрытом и нереализованном потенциале от участия экономики.

На настоящем этапе развития электроэнергетики можно выделить следующие барьеры для развития инновационных экосистем:

− разрозненность развития технологий энергоэффективности;

− медленная трансформация экспорто-сырьевой экономики;

− низкие стимулы для развития малого и среднего бизнеса, предпринимательства;

− административное давление;

− низкий спрос крупных компаний на новые прорывные решения;

− модели рынков и правила игры в энергетике дают возможность для проявления их рыночной силы производителям из сектора централизованной генерации, регуляторам, компаниям с государственным участием;

− барьеры для интеграции собственной интеграции потребителей в энергосистемы;

− недостаточный опыт реинжиниринга и копирования;

− невысокая клиентоориентированность у энергокомпаний (фокус на деятельности «до счетчика»);

− энергостратегия и другие нормативно-законодательные документы построены на устаревшем подходе о пассивной роли потребителей.

Среди драйверов для развития интеллектуальных экосистем в электроэнергетике можно отметить следующее:

− быстрое, но неравномерное развитие цифровизации и финансовых технологий;

− высокий уровень дифференциации условий (климат, культура, социально-экономическое развитие, бюджетная сбалансированность регионов, структура экономики);

− умение вести деятельность в условиях неблагоприятной и нестабильной деловой среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения, происходящие в электроэнергетике, играют ключевую роль в развитии и росте не только промышленности страны, но и государства в целом. Усилившаяся турбулентность внешней среды в последние десятилетия, сопровождаемая энергетическим переходом, ставит перед электроэнергетической отраслью совершенно новые вызовы, ответ на которые определит не только успех отдельных участников рынка, но и может повлиять на темпы роста экономики, уровень технологического развития и оптимальное использование ресурсов в целом. Учитывая сложную структуру данной отрасли, ее рассмотрение требует комплексного подхода, затрагивающего вопросы не только общих тенденций на рынке и драйверов развития отдельных сегментов, но и структурные моменты, связанные с институциональными особенностями рынка, а также отдельные управленческие практики компаний – одних из основных игроков.

Данная монография представляет собой полноценный взгляд на трансформацию электроэнергетики и рассматривает наиболее важные аспекты этого процесса. Анализ при этом происходит как на уровне мировой электроэнергетики, так и на уровне российской практики.

В первой главе, посвященной направлениям развития самой трансформации электроэнергетики, были выделены три ключевых тренда, оказывающих системное явление на рынок: продолжающаяся электрификация, сопряженная с отказом от углеводородов, децентрализация и цифровизация. Именно данные процессы становятся источниками трансформационных изменений, приводящих к изменению условий внешней среды и развитию новых явлений, в том числе интеллектуальной энергетической системы. Очевидно, что для успешных преобразований в рамках обозначенных трендов требуется новая технологическая парадигма.

Интеллектуальная энергетика, требующая, основанная на определенной технологической базе, получила определенное развитие в различных странах, но при этом приоритеты, ставящиеся во главу, и механизмы стимулирования имеют межстрановые различия, как показало исследование. В России возникновение и эволюция интеллектуальной энергетической системы сопряжены с комплексом проблем, создающих соответствующие затруднения.

Трансформация электроэнергетики, рассмотренная во второй главе монографии, с точки зрения изменения структуры отрасли, состава ее участников, показала, что на современном этапе электроэнергетический сектор имеет черты централизованной, децентрализованной и расширенной систем. На рынке присутствуют не только традиционные участ-

ники (например, сбытовые организации), но и игроки, предоставляющие нетрадиционные услуги. Большое влияние на изменение линейного характера цепочки создания ценности имеет активный потребитель. В интеллектуальных энергетических системах взаимодействие агентов базируется же на определенных принципах, позволяющих достигать сетевых форм. Трансформационные процессы в электроэнергетике, в том числе интеллектуальной, оказываются также тесно сопряженными с изменением регулирования, среди задач которого удовлетворение растущего спроса с минимизацией негативного воздействия на окружающую среду и поддержка развития ВИЭ. Реализация последних на практике имеет существенные особенности в зависимости от страны.

Анализ существующих моделей рынков электроэнергии, как в теоретическом плане, так и с эволюционной точки зрения, в некоторых странах показал очевидные страновые различия, определяющиеся целой совокупностью факторов, отраженных в третьей главе. На розничные рынки электроэнергии большое влияние оказывают активные потребители, которых условно можно разделить на две группы: промышленные и коммерческие предприятия и домохозяйства. Но в текущих условиях на рынках большинства стран преобладают пассивные потребители, что оказывает сдерживающее влияние на происходящие преобразования.

Цифровизация и ряд других процессов, сопровождающих трансформацию электроэнергетики, неизменно влияют на практики управления энергокомпаниями, которые были проанализированы в четвертой главе работы. Система управления производственными активами сталкивается с необходимостью выстраивания целостной структуры, которая включала бы в себя эффективную информационную систему сбора и анализа данных и изменившийся процесс работы на операционном уровне. На рынке электроэнергии создаются условия для возникновения участников с новыми бизнес-моделями в области распределенной генерации, агрегации региональных систем и управления спросом. В таких условиях особую ценность приобретает инновационный потенциал компаний, особенно с учетом формирующейся экосистемы инноваций в различных странах, которая сопряжена с рядом ограничений. По результатам анализа, на российском рынке сегмент генерации имеет наибольший потенциал для развития и трансформации, его участники способны самостоятельно создавать новые технологические решения и применять их, что в свою очередь подкрепляется отдельными институциональными и регуляторными положениями.

Опираясь на полученные результаты и выводы, справедливо можно говорить о достижении ранее поставленной цели исследования и освещении в работе обобщенных и систематизированных знаний о трансформационных преобразованиях в электроэнергетике в условиях

энергетического перехода и развития интеллектуальной энергетической системы, а также анализе многосторонних эффектов, порождаемых данными процессами.

Результаты данной монографии представляют определенную научную ценность как в части сбора и анализа существующих тенденций развития современной электроэнергетики на мировом уровне и для России в целом, так и в части анализа практик и перспектив ее трансформации. Полученные результаты могут быть интересны при разработке и оценке стратегий компаний на электроэнергетическом рынке и изменения их бизнес-модели для сохранения своего положения в отрасли, а также для разработки инструментов контроля со стороны органов государственной власти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые вопросы развития розничных рынков электроэнергии, а также экономики городов и агломераций: Итоговый отчет по проекту № 7 программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2016 год / Е. Ясин [и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2016.

2. Некоторые вопросы развития розничных рынков электроэнергии, а также экономики городов и агломераций: Итоговый отчет по проекту № 5 программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2017 год / Е. Ясин [и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2017.

3. Механизмы взаимодействия экономических агентов в интеллектуальных энергосистемах. Практическое внедрение результатов фундаментальных исследований в сфере экономики российских городов и агломераций: Итоговый отчет по проекту № 5 программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2018 год / Е. Ясин [и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2018. – 560 с.

4. Модели функционирования экосистем инноваций в российской электроэнергетике. Сравнительный анализ структуры экономики крупнейших российских и зарубежных городов и агломераций: Итоговый отчет по проекту № 5 программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2019 год / Е. Ясин [и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2019.

5. The road ahead. Gaining momentum from energy transformation [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.com/gx/en/utilities/publications/assets/pwc-the-road-ahead.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

6. The Future of Electricity. New Technologies Transforming the Grid Edge [Электронный ресурс] / World Economic Forum. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

7. Корона-нефтяной обвал. Что ждет российскую энергетику после эпидемии [Электронный ресурс] / Московский центр Карнеги. – URL: ttps://carnegie.ru/commentary/81790?fbclid=IwAR3XOmCnBIS3bM8WfkPEhbN-nKurq3TITKdnRQnfP1KDQc4EDBYCwg9A6Do&utm_source=facebook.com&utm_medium=social&utm_campaign=korona-shok-vliyanie-na-energetikustat (дата обращения: 19.10.2020).

8. Холкин Д. Цифровой переход в энергетике России: в поисках смысла / Д. Холкин, И. Чаусов // Энергетическая политика. – 2018. – № 5. – С. 7–16.

9. Волкова И. Закономерности трансформации электроэнергетики с учетом опыта теории реформ / И. Волкова, А. Косыгина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 11–12. – С. 19–30.

10. Energy security in International Relations (IR) theories [Электронный ресурс] / A. Belyi. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved

=2ahUKEwiH0-
LWisHsAhU-
JjosKHf_lDikQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.hse.ru%2Fdata%2F339%2F636%2F1233%2FReaderforLecturesOnEnergySecurity.doc&usg=AOvVaw02WXg73mXzKkntQG5sXBsb (дата обращения: 19.10.2020).

11. Energy Efficiency [Электронный ресурс] / IEA. – URL: https://webstore.iea.org/market-report-series-energy-efficiency-2017-pdf (дата обращения: 19.10.2020).

12. District Energy in Cities. Unlocking the potential of energy efficiency and renewable energy [Электронный ресурс] / UNEP. – URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9317/-
Dis-
trict_energy_in_cities_unlocking_the_potential_of_energy_efficiency_and_renewable_ene.pdf?sequence=2&isAllowed=y (дата обращения: 19.10.2020).

13. Воропай Н.И. Интегрированные энергетические системы как инновационное направление энергетики будущего / Н.И. Воропай [и др.] // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление : сб. статей Всеросс. конф. 1–3 сентября 2015 г. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 47–55.

14. Renewable power generation costs in 2018 [Электронный ресурс] / IRENA. – URL: https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018 (дата обращения: 19.10.2020).

15. Renewables 2019. Global status report [Электронный ресурс] / Ren21. – URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

16. 2019 hydropower status report [Электронный ресурс] / International Hydropower Association. – URL: https://www.hydropower.org/status2019 (дата обращения: 19.10.2020).

17. Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems [Электронный ресурс] / Fraunhofer ISE. – URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

18. World Energy Outlook [Электронный ресурс] / IEA. – URL: https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018 (дата обращения: 19.10.2020).

19. Проскурякова Л. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития [Электронный ресурс] / Л. Проскурякова, Г. Ермоленко. – URL: https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/uj7j4zgqcc/direct/204700493.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

20. Башмаков И. Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России до и после 2050 г. [Электронный ресурс] / И. Башмаков. – URL: https://wwf.ru/upload/iblock/8a2/04_zatraty_i_vygody_nizkouglerodnoi_ekonomiki.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

21. Energy transformation. The impact on the power sector business model [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.com/ua/en/industry/energy-and-utilities/assets/pwc-global-survey-new.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

22. REthinking Energy 2017 [Электронный ресурс] / IRENA. – URL: https://www.irena.org/publications/2017/Jan/REthinking-Energy-2017-Accelerating-the-global-energy-transformation (дата обращения: 19.10.2020).

23. World Energy Outlook [Электронный ресурс] / OECD/IEA. – URL: https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2016 (дата обращения: 19.10.2020).

24. Промышленность 4.0: создание цифрового предприятия. Глобальное исследование «Промышленность 4.0» [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/industry-4-metals-key-findings_rus.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

25. Сидорович В. Солнечный город Сеул: 1 ГВт солнечных электростанций к 2022 г. [Электронный ресурс] / В. Сидорович. – URL: http://renen.ru/solar-city-seoul-1-gw-solar-power-stations-by-2022-g/ (дата обращения: 19.10.2020).

26. Сидорович В. Google переходит на 100 % ВИЭ энергоснабжение [Электронный ресурс] / В. Сидорович. – URL: http://renen.ru/google-perehodit-na-100-vie-energosnabzhenie/ (дата обращения: 19.10.2020).

27. Сидорович В. В 2017 в Китае будет введено в строй 54 ГВт солнечных электростанций [Электронный ресурс] / В. Сидорович. – URL: http://renen.ru/bnef-raises-chinas-solar-installation-forecast-to-54gw/ (дата обращения: 19.10.2020).

28. Technology Roadmap: Smart Grids [Электронный ресурс] / IEA. – URL: https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-smart-grids (дата обращения: 19.10.2020).

29. Бушуев В. Российская электроэнергетика – 2050 в контексте инновационного развития [Электронный ресурс] / В. Бушуев [и др.]. – М. : ЗАО «ГУ ИЭС», 2011. – 76 с. – URL: http://www.energystrategy.ru/editions/en-21.htm (дата обращения: 19.10.2020).

30. Дорофеев В. Развитие электроэнергетической системы России с использованием принципов активно-адаптивной сети / Мат-лы Междунар. форума «Энергетика будущего». – М., 2010.

31. Panajotovic B. ICT and smart grid / B. Panajotovic // 2011 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). – 2011. – Pp. 118–121.

32. Moyer J. ICTs: Do they contribute to increased carbon emissions? / J. Moyer, B. Hughes // Technological Forecasting and Social Change. – 2012. – Vol. 79. – № 5. – Pp. 919–931.

33. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank: Accelerating Clean Energy Innovation [Электронный ресурс] / European Commission. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52012DC0673 (дата обращения: 19.10.2020).

34. White Paper on Developing Competitive Electricity Markets and Pricing Structures [Электронный ресурс] / T. Rudkevich. – New York : NYSERDA, 2016. – URL: https://hepg.hks.harvard.edu/publications/white-paper-developing-competitive-electricity-markets-and-pricing-structures-0 (дата обращения: 27.10.2020).

35. How disruptive technologies are changing the power sector [Электронный ресурс] // Power Technology. – URL: https://www.power-technology.com/comment/disruptive-technologies-power-sector/ (дата обращения: 19.10.2020).

36. How IoT is Transforming the Energy Industry [Электронный ресурс] / E. Folk. – URL: https://www.renewableenergymagazine.com/emily-folk/how-iot-is-transforming-the-energy-industry-20190418 (дата обращения: 19.10.2020).

37. The Developing Role of Blockchain [Электронный ресурс] // World Energy Council. – URL: https://www.worldenergy.org/publications/entry/the-developing-role-of-blockchain (дата обращения: 19.10.2020).

38. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития / Ю. Удальцов, Д. Холкин. – М., 2018.

39. Концепция развития электроэнергетического рынка на основе новых технологий [Электронный ресурс] / Экспертная группа рабочей группы «EnergyNet». – URL: http://www.energosovet.ru/news.php?zag=1498128143 (дата обращения: 19.10.2020).

40. Energy Storage for the Grid and Ancillary Services [Электронный ресурс] / Navigant Research. – URL: https://www.navigantresearch.com/research/market-data-energy-storage-for-the-grid-and-ancillary-services (дата обращения: 19.10.2019).

41. Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030 [Электорнный ресурс] / IRENA. – URL: https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets (дата обращения: 19.10.2020).

42. Skoltech New technologies in the energy sector. – 2016.

43. Tesla Dominates The U.S. Electric Vehicle Market [Электронный ресурс] / Forbes. – URL: https://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2017/08/14/tesla-dominates-the-u-s-electric-vehicle-market-infographic/#451bdc377be4 (дата обращения: 19.10.2020).

44. World trends in the development of vehicles with alternative energy sources / N.K. Tuan [и др.] // ARPN Journal of engineering and applied sciences. – 2018. – Т. 13, №. 7. – С. 2535.

45. Tang G. Smart grid management & visualization: Smart Power Management System / G. Tang. // 2011 8th International Conference & Expo on Emerging Technologies for a Smarter World. – 2011. – Pp. 1–6.

46. Rogai S. Enel's Metering System and Telegestore Projecy [Электронный ресурс] // Economic commission of Europe. Committee on Sustainable Energy. Eighth Meeting. – Geneva, 2006. – URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/adhoc/adhoc8May06/2_Rogai.pdf (дата обращения: 25.10.2020).

47. Khuffash K. Smart grids – Overview and background information / K. Khuffash // Application of Smart Grid Technologies. Case Studies in Saving Electricity in Different Parts of the World / editors L. Lamont and A. Sayigh. – Academic Press, 2018. – P. 492.

48. Digitalization and Ways for the Development of the Electric Energy Industry with the Participation of Consumers: New Challenges for Shaping the Investment Climate / Y. Burda [и др.] // Journal of Siberian Federal University. Series: Humanities & Social Sciences. – 2019. – Т. 4, № 12. – С. 545–564.

49. Switching perspectives. Creating new business models for a changing world of energy [Электронный ресурс] / IBM Institute for Business Value. – IBM Institute for Business Value, 2010. – URL: https://www.ibm.com/downloads/cas/KQ0OMG9D (дата обращения: 19.10.2020).

50. Jansen W. New Business Models for the Knowledge Economy / W. Jansen, W. Steenbakkers, H. Jagers // Ashgate. – 2007.

51. Shahidehpour M. Smart Grid: A New Paradigm for Power Delivery [Электронный ресурс] / IEEE Bucharest Power Tech. – Bucharest : Romania, 2009. – URL: https://ewh.ieee.org/conf/powertech/2009/Program_files/Mohammad_Shahidehpour.pdf (дата обращения: 25.10.2020).

52. Кобец Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М. : ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

53. Волкова И. Интеллектуальная энергетика в России: оценка существующего потенциала развития / И. Волкова // ЭКО. – 2016. – Т. 12. – С. 90–100.

54. Germany's Energiewende: The Easy Guide [Электронный ресурс] / Clean Energy Wire. – URL: https://www.cleanenergywire.org/easyguide (дата обращения: 19.10.2020).

55. Morris C. The German Energiewende Book. The Global Energiewende / M. Morris, C. Pehnt. – Berlin : Ecologic, 2016.

56. Global Energy Transformation. A Roadmap to 2050 [Электронный ресурс] / IRENA. – Abu Dhabi, 2018. – URL: https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050 (дата обращения: 19.10.2020).

57. Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework / A. Cherp [и др.] // Energy Research & Social Science. – 2018. – Vol. 37. – Pp. 175–190.

58. The missing link: Bringing institutions and politics into energy future studies / M. Nilsson // Futures. – 2011. – Vol. 43. – Pp. 1117–1128.

59. Полтерович В. Современное состояние теории экономических реформ / В. Полтерович // Экономическая наука современной России. – 2008. – № 40. – С. 6–45.

60. Полтерович В. Стратегии модернизации. Институты и коалиции / В. Полтерович // Вопросы экономики. – 2008а. – № 4. – С. 4–24.

61. Белоусов Д. Неопределенная неопределенность: управление адаптационным потенциалом [Электронный ресурс] / Д. Белоусов // Стратегическое планирование в регионах и городах России: диалог в поисках согласованности: XV Общеросс. форум стратегического планирования. – 2016. – С. 1–9. URL: http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/Presentations/DBelousov/2016_10_24NS.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

62. Phillips T. The Chill of Solar Minimum. 2018 [Электронный ресурс] / Spaceweatherarchive.com. – URL:https://spaceweatherarchive.com/2018/09/27/the-chill-of-solar-minimum/ (дата обращения: 18.11.2018).

63. Geels F.W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study / F.W. Geels // Research. Policy. – 2002. – Vol. 31. – Pp. 1257–1274.

64. . Geels F.W. Typology of sociotechnical transition pathways / F.W. Geels, J. Schot // Research. Policy. – 2007. – Vol. 36. – Pp. 399–417.

65. Цифровой переход в электроэнергетике России [Электронный ресурс] / А. Абрамов [и др.] ; под общ. ред. В. Княгина, Д. Холкина. – М. : Центр Стратегических Разработок, 2017. – С. 46. – URL: https://www.csr.ru/uploads/2017/09/Doklad_energetika-Web.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

66. Ясин Е. Структурные изменения и некоторые проблемы регулирования в российской экономике: Итоговый отчет по проекту № 7 программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2015 год / Е. Ясин [и др.]. – М. : НИУ ВШЭ, 2015. – 468 с.

67. Холкин Д. Умные сети начинаются с архитектуры [Электронный ресурс] / Д. Холкин // erazvitie.org. – 2014. – URL: http://erazvitie.org/article/umnie-seti-nachinalutsja-s-srhitekturi. (дата обращения: 05.11.2018).

68. World Energy Issues Monitor [Электронный ресурс] / World Energy Council. – 2019. – URL: https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/issues-monitor (дата обращения: 05.11.2019).

69. Холкин Д. Национальная технологическая инициатива / Д. Холкин // Дорожная карта развития рынка ЭнерджиНэт. – М., 2016. – С. 1–14.

70. Холкин Д. Будущее интеллектуальной энергетики / Д. Холкин // Конференция Energynet. – Ялта, 2016.

71. Сидорович В. Солнце вместо нефти: как члены ОПЕК вкладываются в новую энергетику / В. Сидорович // РБК. – 2017. – URL: http://www.rbc.ru/opinions/economics/05/04/2017/58e393ac9a794747813fb427 (дата обращения: 15.04.2017).

72. Сидорович В. Как альтернативная энергетика становится выгодной / В. Сидорович // РБК. – 2016. – URL: http://www.rbc.ru/newspaper/2016/06/30/5773ab2d9a794727f46ccaff (дата обращения: 29.06.2016).

73. State Grid Corporation of China : сайт [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: http://www.sgcc.com.cn/ywlm/index.shtml (дата обращения: 05.11.2019).

74. H.R.1 – American Recovery and Reinvestment Act of 2009 [Электронный ресурс] / Конгресс США : сайт. – 2019. – URL: https://www.congress.gov/bill/111th-congress/house-bill/1/text (дата обращения: 05.11.2019).

75. Smart Grid Investment Grant Program / SmartGrid.gov : сайт. – 2019. – URL: https://www.smartgrid.gov/recovery_act/overview/smart_grid_investment_grant_program.html (дата обращения: 05.11.2019).

76. Ретингер А. Мир на пороге новой энергетики [Электронный ресурс] / Евразия эксперт : сайт. – 2016. – URL: http://eurasia.expert/mir-na-poroge-novoy-energetiki/ (дата обращения: 13.09.2016).

77. Low Carbon Networks Fund [Электронный ресурс] / Ofgem : сайт. – 2019. – URL: https://www.ofgem.gov.uk/electricity/distribution-networks/network-innovation/low-carbon-networks-fund (дата обращения: 05.11.2019).

78. Retail Energy Markets in 2016 [Электронный ресурс] / Ofgem : сайт. – 2016. – URL: https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2016/08/retail_energy_markets_in_2016.pdf (дата обращения: 25.10.2020).

79. Yakovleva A. Towards an innovation ecosystem: The case for stimulating collaboration in the Russian energy sector / A. Yakovleva, I. Volkova // IOP Earth and Environmental Science. – 2018. – № 188.

80. REVIEW [Электронный ресурс] / The Boston Consulting Group. – М. : BCG, 2018. – № 43. – С. 70. – URL: https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Review-April-2018_tcm9-191175.pdf (дата обращения: 25.10.2020).

81. Bregman A. Аддитивное производство – прорыв в арматуростроении? / A. Bregman, K. Kunkel // Арматуростроение. – 2015. – № 3. – Т. 96. – С. 69–75.

82. Positively charged. Creating a future of value and growth for utilities in a multifaceted energy system [Электронный ресурс] / Accenture : сайт. – URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-78/accenture-utilities-positively-charged-future-summary.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

83. Carrigan C. Powering Up the Customer Experience in Utilities [Электронный ресурс] / C. Carrigan, C. Jarret. – URL: https://www.bain.com/insights/powering-up-the-customer-experience-in-utilities/ (дата обращения: 19.10.2020).

84. Smart Grids in Distribution Networks. Roadmap Development and Implementation [Электронный ресурс] / IEA. – 2015. – URL: https://webstore.iea.org/how2guide-for-smart-grids-in-distribution-networks (дата обращения: 19.10.2020).

85. The power sector goes digital – Next generation data management for energy consumers [Электронный ресурс] / EURELECTRIC : сайт. – 2016. – URL: https://silo.tips/download/the-power-sector-goes-digital-next-generation-data-management-for-energy-consume (дата обращения: 19.10.2020).

86. Predix: The Industrial Internet Platform [Электронный ресурс] / General Electric : сайт. – 2020. – URL: https://www.ge.com/digital/iiot-platform (дата обращения: 19.10.2020).

87. Brennan T. Optimal energy efficiency policies and regulatory demand-side management tests: How well do they match? / T. Brennan // Energy Policy. – 2010. – Vol. 38. – № 8. – Pp. 3874–3885.

88. Generating Value. Services for renewables companies [Электронный ресурс] / Accenture. – URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-93/accenture-renewables-services-paper.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

89. Parag Y. Electricity Market Design for the Prosumer Era / Y. Parag, B. Sovacool // National Energy. – 2016. – Vol. 1. – Pp. 1–6.

90. Gkatzikis L. The Role of Aggregators in Smart Grid Demand Response Markets / L. Gkatzikis, I. Koutsopoulos, T. Salonidis // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2013. – Vol. 31. – № 7. – Pp. 1247–1257.

91. Сидоровская Н. Управление спросом на мировых рынках электроэнергии / Н. Сидоровская // Энергорынок. – 2015. – Т. 7. – № 132. – С. 28–34.

92. 2017 Power and Utilities Trends [Электронный ресурс] / PwC : сайт. – 2017. – URL: www.strategyand.pwc.com: https://www.strategyand.pwc.com/trend/2017-power-and-utilities-industry-trends (дата обращения: 19.10.2020).

93. Сальникова Е. Формирование концепции активного потребителя в электроэнергетике : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : дис. на соискание уч. степ. канд. экон. наук / Е. Сальникова ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб., 2014. – 155 с.

94. Volkova I. Active consumers in Russian electric power industry: barriers and opportunities / I. Volkova, E. Salnikova, L. Gitelman // Energy: Challenges and Solutions. – 2017. – Pp. 27–35.

95. Prosumers – an integral part of the power system and the market [Электронный ресурс] / EURELECTRIC : сайт. – 2015. – URL: http://www.elecpor.pt/pdf/18_06_2015_Prosumers_an_integral_part_of_the_power_system_and_market_june.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

96. New energy consumer: creating links to love [Электронный ресурс] / Accenture : сайт. – 2018. – URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-91/accenture-creating-links-love.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

97. Realizing the Electric-Vehicle Revolution / M. Tran [и др.] // Nature Climate Change. – 2012. – Vol. 2. – Pp. 328–333.

98. Report from the Commission: Benchmarking Smart Metering Deployment in the EU-27 with a Focus on Electricity and Commission [Электронный ресурс] / European Commission : сайт. – 2014. – URL: https://ses.jrc.ec.europa.eu/publications/reports/benchmarking-smart-metering-deployment-eu-27-focus-electricity (дата обращения: 19.10.2020).

99. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank: Accelerating Clean Energy Innovation [Электронный ресурс] / European Commission : сайт. – 2016. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52016DC0763 (дата обращения: 19.10.2020).

100. Крылова Е. Реклоузеры. Тактика эффективного применения [Электронный ресурс] / Е. Крылова // ЭнергоНадзор. – 2009. – № 6. – URL: http://www.e-xecutive.ru/community/magazine/1348830-elena-krylova-reklouzery-taktika-effektivnogo-primeneniya (дата обращения: 05.06.2017).

101. Brown D. Prosumers in the post subsidy era: an exploration of new prosumer business T models in the UK / D. Brown, S. Hall, M. Davis // Energy Policy. – 2019. – Vol. 135. – Pp. 110984.

102. Local grid charging. Exploring the Incentivisation of Local Energy [Электронный ресурс] / Open Utility. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjaxPTnmMHsAhUPlIsKHf0KDWwQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.westernpower.co.uk%2Fdocs%2FInnovation%2FOther%2Fopen-utility-local-grid-charging-white-paper.aspx&usg=AOvVaw1_8Rj2Wqd73LMHdT_7HE7e (дата обращения: 19.10.2020).

103. Cárdenas A. Security and Privacy in the Smart Grid / A. Cárdenas, R. Safavi-Naini // Handbook on Securing Cyber-Physical Critical Infrastructure. – Boston : Morgan Kaufmann, 2012. – 126 p.

104. Pearson I. Smart grid cyber security for Europe / I. Pearson // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39. – Pp. 5211–5218.

105. Kumar V. Cyber security threats in the power sector: Need for a domain specific regulatory framework in India // V. Kumar, K. Pandey, D. Punia // Energy Policy. – 2014. – Vol. 65. – Pp. 126–133.

106. Realizing the Electric-Vehicle Revolution / M. Tran [и др.] // Nature Climate Change. – 2012. – Vol. 2. – Pp. 328–333.

107. Van Bommel S. A Reasonable Price for Electricity // S. Van Bommel // Journal of Consumer Policy. – 2016. – Vol. 39. – Pp. 141–158.

108. Designing for Disruptions / World Energy Council : сайт. – 2019. – URL: https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Designing_for_Disruption_FINAL_for_website.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

109. Customer engagement in an era of energy transformation / PwC : сайт. – 2016. – URL: https://www.pwc.ru/ru/power-and-utilities/publications/assets/pwc-customer-engagement.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

110. Интеллектуальная энергетика / ИНЭИ РАН : сайт. – 2020. – URL: https://www.eriras.ru/data/788/rus (дата обращения: 19.10.2020).

111. Weisshaupt T. The Evolving Energy Ecosystem [Электронный ресурс] / T. Weisshaupt ; Powergrid International : сайт. – 2017. – URL: https://www.power-grid.com/2017/04/01/the-evolving-energy-ecosystem/#gref (дата обращения: 19.10.2020).

112. The Developing Role of Blockchain / World Energy Council : сайт. – 2020. – URL: https://www.worldenergy.org/publications/entry/the-developing-role-of-blockchain (дата обращения: 19.10.2020).

113. Transition towards a decarbonised electricity sector – a framework of analysis for power system [Электронный ресурс] / NewClimate Institute: сайт. – 2019. – URL: https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/10/Report_Transition_Towards_A_Decorbanised_Electricity_Sector_A2A_2019.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

114. Lagnesjo G. Shifting the focus to people: Global societal priorities and the contribution made by conservation science / G. Lagnesjo // Studies in Conservation. – 2015. – Vol. 60. – Pp. 14–19.

115. Global shifts in the energy system [Электронный ресурс] / Behind Energy : сайт. – 2017. – URL: http://www.behindenergy.com/global-shifts-in-the-energy-system/?lang=en (дата обращения: 19.10.2020).

116. Bazilian M. The Evolving Role of the Power Sector Regulator [Электронный ресурс] / M. Bazilian, O. Zinaman, M. Miller //A clean energy regulators initiative report. – NREL. – 2014. – URL: https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61570.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

117. Considering the energy, water and food nexus: towards an integrated modelling approach / M. Bazilian [и др.] // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39. – Pp. 7896–7906.

118. Kalkuhl M. Learning or lock-in: Optimal technology policies to support mitigation / M. Kalkuhl, O. Edenhofer, K. Lessmann // Resource and Energy Economics. – 2012. – Vol. 34. – Pp. 1–23.

119. Toby D. Coutur. A Policymaker’s Guide to Feed-in-Tariff Policy Design [Электронный ресурс] / D. Toby Coutur [и др.] // National Renewable Energy Laboratory. – 2010. – URL: https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/44849.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

120. Tongsopit S. An assessment of Thailand’s feed-in tariff program / S. Tongsopit, C. Greacen // Renewable Energy. – 2013. – Vol. 60. – Pp. 439–445.

121. Electricity auctions: an overview of efficient practices [Электронный ресурс] / World Bank Publications. – 2011. – URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2346 (дата обращения: 19.10.2020).

122. Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities / J. Lopes [и др.] // Electric Power Systems Research. – 2007. – Vol. 77. – Pp. 1189–1203.

123. Active Distribution System Management: A key tool for the smooth integration of distributed generation [Электронный ресурс] / Eurelectric. – 2013. – URL: https://www.eurelectric.org/media/1781/asm_full_report_discussion_paper_final-2013-030-0117-01-e.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

124. Marques V. The «Smart Paradox»: Stimulate the deployment of smart grids with effective regulatory instruments / V. Marques, N. Bento, P. Costa // Energy. – 2014. – Vol. 69. – Pp. 96–103.

125. Agrell P. Smart-grid investments, regulation and organization / P. Agrell, M. Mikkers // Energy Policy. – 2013. – Vol. 52. – Pp. 656–666.

126. Mercurio A. Microgrids and Energy Security: The Business Case [Электронный ресурс] / A. Mercurio. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjf_Mj4rMHsAhVgAxAIHXFIDNEQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.iaee.org%2Fen%2Fpublications%2Fnewsletterdl.aspx%3Fid%3D217&usg=AOvVaw0cNwGXOINY3N-9LhCp-ryY (дата обращения: 19.10.2020).

127. Yuen C. The Feasibility and Profitability of Ancillary Services Provision from Multi-MicroGrids / C. Yuen, A. Oudalov // Power Tech 2007 IEEE. – 2007. – Pp. 598–603.

128. Chowdhury S. Microgrids and active distribution networks / S. Chowdhury, P. Crossley, S. Chowdhury. – The Institution of Engineering and Technology, 2009. – 320 p.

129. Policies and demonstrations of micro-grids in China: A review / Z. Zeng [и др.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 29. – Pp. 701–718.

130. Opportunities and challenges in setting up solar photo voltaic based micro grids for electrification in rural areas of India / P. Raman [и др.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Vol. 16. – Pp. 3320–3325.

131. Xu Z. A review of rural electrification through micro-grid approach: South African context / Z. Xu, S. Chowdhury // Power Engineering Conference. – 2013. – Pp. 1–6.

132. Sustainable Development of Renewable Energy Mini- grids for Energy Access: A Framework for Policy Design [Электронный ресурс] / Lawrence Berkeley National Laboratory. – 2013. – URL: https://ies.lbl.gov/publications/sustainable-development-renewable (дата обращения: 19.10.2020).

133. A Guidebook on Grid Interconnection and Islanded Operation of Mini-Grid Power Systems Up to 200 kW [Электронный ресурс] / Lawrence Berkeley National Laboratory. – 2013. – URL: https://www.osti.gov/servlets/purl/1171616 (дата обращения: 19.10.2020).

134. From the Bottom Up: How Small Power Producers and Mini-grids Can Deliver Electrification and Renewable Energy in Africa [Электронный ресурс] / World Bank Publications. – 2015. – URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16571 (дата обращения: 19.10.2020).

135. Gelazanskas L. Demand side management in smart grid: A review and proposals for future direction / L. Gelazanskas, K. Gamage // Sustainable Cities and Society. – 2014. – Vol. 11. – Pp. 22–30.

136. Zehir M. Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers / M. Zehir, M. Bagriyanik // Energy Conversion and Management. – 2012. – Vol. 64. – Pp. 238–244.

137. Arteconi A. Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems / A. Arteconi, N. Hewitt, F. Polonara // Applied Thermal Engineering. – 2013. – Vol. 51. – Pp. 155–165.

138. Warren P. A review of demand-side management policy in the UK / P. Warren // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 29. – Pp. 941–951.

139. Finn P. Demand side management of industrial electricity consumption: Promoting the use of renewable energy through real-time pricing / P. Finn, C. Fitzpatrick // Applied Energy. – 2014. – Vol. 113. – Pp. 11–21.

140. Brennan T. Optimal energy efficiency policies and regulatory demand-side management tests: How well do they match? / T. Brennan // Energy Policy. – 2010. – Vol. 38. – Pp. 3874–3885.

141. Cárdenas A. Security and Privacy in the Smart Grid / A. Cárdenas, R. Safavi-Naini // Handbook on Securing Cyber-Physical Critical Infrastructure. – Boston : Morgan Kaufmann, 2012. – 126 p.

142. Pearson I. Smart grid cyber security for Europe / I. Pearson // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39. – Pp. 5211–5218.

143. Forging a Path toward a Digital Gird. Global Perspectives on Smart Grid Opportunities [Электронный ресурс] / Accenture : сайт. – 2013. – URL: https://www.accenture.com/in-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Forging-a-Path-toward-a-Digital-Grid_Global-Perspectives-on-Smart-Grid-Opportunities.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

144. Is there trouble brewing for transmission and distribution [Электронный ресурс] / Whitehelm Advisors : сайт. – 2018. – URL: https://www.whitehelmcapital.com/wp-content/uploads/2018/08/201703-Feature-Article-Electricity-Transmission-and-Distribution-S.pdf (дата обращения: 19.10.2018).

145. Mapping power and utilities regulation in Europe [Электронный ресурс] / EY : сайт. – 2018. – URL: https://erranet.org/wp-content/uploads/2018/04/Mapping_regulation_in_Europe.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

146. Parrish D. The regulatory asset base [Электронный ресурс] // Ма-лы конф. Regulation for Practitioners Building Capacity through Participation. – Johannesburg, 2009. – URL: https://pubs.naruc.org/pub.cfm?id=53702DF1-2354-D714-513F-CD99F03D2B5A (дата обращения: 19.10.2020).

147. Jankauskas V. European Tarfii Methodologies: Common themes and practices [Электронный ресурс] / Regional seminar: INOGATE PC convergence with EU Electricity and Gas Tariffs. – Budapest : Inogate, 2013. – URL: http://www.inogate.org/documents/Energy%20pricing%20in%20EU%20ENG.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

148. Швец Н. Опыт внедрения RAB-регулирования в распределительном электросетевом комплексе / Н. Швец, А. Демидов // Научные школы МГИМО. – 2012. – Т. 1. – С. 267–272.

149. The Regulatory Asset Base and Project Finance Models. An Analysis of Incentives for Efficiency [Электронный ресурс] / International Transport Forum. – URL: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/dp_2016-01_makovsek_and_veryard.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

150. CEER Report on Investment Conditions in European Countries [Электронный ресурс] / CEER : сайт. – 2018. – URL: https://www.ceer.eu/investment-conditions-report# (дата обращения: 19.10.2020).

151. Determination of the Regulatory Asset Base after Revaluation of License Holder’s Assets. Chart of Accounts [Электронный ресурс] / ERRA : сайт. – 2016. – URL: https://erranet.org/download/determination-regulatory-asset-base-revaluation-license-holders-assets-chart-accounts/ (дата обращения: 19.10.2020).

152. Electric power consumption (kWh per capita) [Электронный ресурс] / The World Bank : сайт. – 2014. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC (дата обращения: 19.10.2020).

153. Prices and costs of EU energy [Электронный ресурс] / European Comission : сайт. – 2016. – URL: https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-prices-and-costs_en (дата обращения: 19.10.2020).

154. Statista : сайт [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: https://www.statista.com (дата обращения: 19.10.2020).

155. Myths and facts of the utility death spiral / M. Castaneda [и др.] // Energy Policy. – 2017. – Vol. 110. – Pp. 105–116.

156. On the utility death spiral and the impact of utility rate structures on the adoption of residential solar photovoltaics and energy storage / N.D. Laws [и др.] // Applied Energy. – 2017. – Vol. 185. – Pp. 627–641.

157. Felder F. The Life and Death of the Utility Death Spiral / F. Felder, R. Athawale // Electricity Journal. – 2014. – Vol. 27. – № 6. – Pp. 9–16.

158. Plugging the consumer: Innovating utility business models of the future / IBM Institute for Business Value : сайт. – 2009. – URL: https://www.ibm.com/downloads/cas/2ZXZJXNK (дата обращения: 19.10.2020).

159. Regulated assets. Trends and investment opportunities [Электронный ресурс] / Deloitte : сайт. – 2011. – URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/finance/deloitte-au-finance-infrastructure-series-regulated-assets-2011-211114.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

160. Daniel A. Hagan. Electricity Regulation in the US [Электронный ресурс] / Daniel A. Hagan, Jane E. Rueger, John N. Forbush ; Lexology : сайт. – 2018. – URL: https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=6decf3ec-4cf8-4930-8a8a-d1a69ac8ba18 (дата обращения: 19.10.2020).

161. Проект энергостратегии российской федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс] / Министерство энергетики РФ : сайт. – 2020. – URL: https://minenergo.gov.ru/node/17492 (дата обращения: 19.10.2020).

162. The regulation of electricity network tariffs in Sweden from 2016 [Электронный ресурс] / C. Wallnerstrom [и др.] ; Swedish Energy Markets Inspectorate (EI) : сайт. – 2016. – URL: https://ei.se/Documents/Nyheter/Nyheter%202016/Artikel%20Ei%20till%20SAEE2016%20final%20version.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

163. Долматов И. Эволюция системы регулирования тарифов в электроэнергетике / И. Долматов, В. Минкова, Е. Яркин // Электрические станции. – 2015. – Т. 1. – С. 12–19.

164. Принципы и подходы ФАС России в сфере электроэнергетики [Электронный ресурс] / ФАС : сайт. – 2018. – URL: https://fas.gov.ru/p/presentations/179 (дата обращения: 19.10.2020).

165. Kasim N. Study on Single Buyer Model and Pool Trading Model in Deregulated Electricity Market / N. Kasim ; Universiti Tun Hussein Onn Malaysia. – Johor, 2014. – 54 p.

166. Lovei Laszlo. The Single-Buyer Model : A Dangerous Path toward Competitive Electricity Market [Электронный ресурс] / The World Bank Group. – 2000. – URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11409 (дата обращения: 19.10.2020).

167. International Experience with Single Buyer Models for Electricity [Электронный ресурс] / Castalia Strategic Advisors : сайт. – 2013. – URL: https://www.yumpu.com/en/document/view/28356228/castalia-review-international-experience-single-buyer-models (дата обращения: 19.10.2020).

168. The Electricity Retail Competition Unicorn: Why Wee Need Alternative ESI Structures [Электронный ресурс] / E. Teljeur, Z. van der Hoven, S. Kagee // 2nd Annual Competition and Economic Regulation (acer) Conference. – Southern Africa, 2016. – URL: https://static1.squarespace.com/static/52246331e4b0a46e5f1b8ce5/t/56f12bb10442628377d83f74/1458645941594/Salma+Kagee_The+Electricity+Retail+Competition+Unicorn_Teljeur.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

169. Electric Choice. Timeline and History of Energy Deregulation in the United States [Электронный ресурс] / Electric Choice : сайт. – 2020. – URL: https://www.electricchoice.com/blog/timeline-history-energy-deregulation/ (дата обращения: 19.10.2020).

170. Map of Deregulated Energy States and Markets (Updated 2017) [Электронный ресурс] / Electric Choice : сайт. – 2020 – URL: https://www.electricchoice.com/map-deregulated-energy-markets/ (дата обращения: 19.10.2020).

171. Nazarian D. Introduction to U.S. Electricity Markets [Электронный ресурс] / D. Nazarian ; NARUC/CAMPUT Bilateral Roundtable. – Oregon, 2012. – URL: http://www.camput.org/wp-content/uploads/2013/09/2012-07-21_-Nazarian_US_Electricity_Markets.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

172. Симонов А. Новый уровень управления аварийными режимами распределительных сетей с помощью реклоузеров / А. Симонов // Электрик. – 2013. – № 3. – С. 8–11.

173. What approaches to retail electric market structure have been tried in Michigan and in other states and jurisdictions [Электронный ресурс] / Michigan Agency for Energy : сайт. – 2020. – URL: http://www.michigan.gov/energy/0,4580,7-230-72200_68204_54287-293379--,00.html (дата обращения: 19.10.2020).

174. Evolution of the Electric Industry Structure in the U.S. and Resulting Issues [Электронный ресурс] / Navigant Consulting. – 2013 – URL: http://docplayer.net/1085149-Evolution-of-the-electric-industry-structure-in-the-u-s-and-resulting-issues.html (дата обращения: 19.10.2020).

175. Speed P. Energy Policy and Regulation in the People's Republic of China / P. Speed // Netherlands : Kluwer Law International, 2004. – 420 p.

176. Sioshansi F. Evolution of Global Electricity Markets [Электронный ресурс] / F. Sioshansi // Netherlands : Elsevier, 2013. – 880 p.

177. Andrews-Speed P. Prospects for Privatization in China's Energy Sector / P. Andrews-Speed, C. Zhenning // Exit the Dragon? Privatization and State Control in China // Royal Institute for International Affairs. – London, 2005. – Pp. 196–213.

178. Ciwei G. Evolution of China’s power dispatch principle and the new energy saving power dispatch policy / G. Ciwei, L. Yang // Energy Policy. – 2010. – Vol. 39. – № 11. – Pp. 7346–7357.

179. Zhanq Q. Regulatory Framework for the Electricity Industry in China [Электронный ресурс] / Q. Zhanq ; OECG : сайт. – URL: https://www.oecd.org/gov/regulatory-policy/41888874.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

180. Pollitt M. Reforming the Chinese Electricity Supply Sector: Lessons from International Experience / M. Pollitt, C. Yang, H. Chen. – London : Palgrave Macmillan. – 260 p.

181. Chen L. Playing the Market Reform Card: the Changing Patterns of Political Struggle in China's Electric Power Sector / L. Chen // The China Journal. – 2010. – Vol. 64. – Pp. 69–95.

182. Yeh E. State Power and the Logic of Reform in China’s Electricity Sector / E. Yeh, J. Lewis // Pacific Affairs. – 2004. – Vol. 77. – № 3. – Pp. 437–465.

183. Relative Policies on Deepening the Reform of Power Industry [Электронный ресурс] / NDRC : сайт. – 2016. – URL: http://tgs.ndrc.gov.cn/zywj/201601/t20160129_773852.html (дата обращения: 19.10.2019).

184. Roadmap of retail electricity market reform in China: assisting in mitigating wind energy curtailment / D. Yu [и др.] // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Vol. 52. – Pp. 012–031.

185. Assessment of Power sector reforms in Vietnam [Электронный ресурс] / Asian Development Bank : сайт. – 2015. – URL: https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/173769/vie-power-sector-reforms.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

186. Energy efficiency in Vietnam [Электронный ресурс]. – Vietnam National University Publisher, 2012. – URL: https://www.academia.edu/5178327/Energy_Efficiency_in_Vietnam_Contents (дата обращения: 19.10.2020).

187. Investment Incentives for Renewable Energy in Southeast Asia: Case study of Viet Nam [Электронный ресурс] / International Institute for Sustainable Development : сайт. – 2013. – URL: https://www.iisd.org/publications/investment-incentives-renewable-energy-southeast-asia-case-study-viet-nam (дата обращения: 19.10.2020).

188. Vietnam Electricity. Organizational Structure [Электронный ресурс] / Vietnam Electricity : сайт. – 2020. – URL: https://en.evn.com.vn/Default.aspx (дата обращения: 19.10.2020).

189. Electricity Tariffs [Электронный ресурс] / Energy Market Authority : сайт. – 2020. – URL: https://www.ema.gov.sg/Residential_Electricity_Tariffs.aspx (дата обращения: 19.10.2020).

190. Generation Company [Электронный ресурс] / Energy Market Authority : сайт. – 2020. – URL: https://www.ema.gov.sg/Licensees_Electricity_Generation_Company.aspx (дата обращения: 19.10.2020).

191. Retailer [Электронный ресурс] / Energy Market Authority : сайт. – 2020. – URL: https://www.ema.gov.sg/Licensees_Electricity_Retailer.aspx (дата обращения: 19.10.2020).

192. Electricity Regulation in Singapore : overview [Электронный ресурс] / Thomson Reuters Practical Law : сайт. – 2019. – URL: https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/Document/Ieca4c0a5d65611e698dc8b09b4f043e0/View/FullText.html?transitionType=CategoryPageItem&contextData=(sc.Default)&comp=pluk&firstPage=true&bhcp=1 (дата обращения: 19.10.2020).

193. Transmission Company [Электронный ресурс] / Energy Market Authority : сайт. – 2020. – URL: https://www.ema.gov.sg/Licensees_Electricity_Transmission_Company_Agent.aspx (дата обращения: 19.10.2020).

194. Electricity regulation in Germany : overview [Электронный ресурс] / Thomson Reuters Practical Law : сайт. – 2019. – URL:

https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/Document/Ieb49d7b71cb511e38578f7ccc38dcbee/View/FullText.html?transitionType=SearchItem&contextData=(sc.Search)&firstPage=true&bhcp=1 (дата обращения: 19. 10.2020).

195. European energy market reform. Country profle: Germany [Электронный ресурс] / Deloitte : сайт. – 2015. – URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-er-market-reform-germany.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

196. Report on the German power system [Электронный ресурс] / Agora : сайт. – 2015. – URL: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2014/CP-Deutschland/CP_Germany_update_1015_web.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

197. Energy market investigation: Summary of final report [Электронный ресурс] / Competition & Market Authority. – 2016. – URL: https://www.gov.uk/cma-cases/energy-market-investigation (дата обращения: 19.10.2020).

198. Onaiwu E. How does the bilateral trading differ from electricity pooling? [Электронный ресурс] / E. Onaiwu. – URL: https://archive.uea.ac.uk/~e680/energy/energy_links/electricity/Dundee_paper_comparison_pool_bilateral_trading.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

199. Rotaru D. The UK Electricity Market Evolution During the Liberalization Process [Электронный ресурс] / D. Rotaru. – URL: https://ideas.repec.org/a/jes/wpaper/y2013v5i2p267-278.html (дата обращения: 19.10.2020).

200. National Life Stories: An Oral History of the Electricity Supply Industry in the UK [Электронный ресурс] / British Library. – URL: https://www.bl.uk/projects/national-life-stories-an-oral-history-of-the-electricity-supply-industry-in-the-uk (дата обращения: 19.10.2020).

201. Regulation of the UK Electricity Industry [Электронный ресурс] / CRI. – URL: https://archive.uea.ac.uk/~e680/energy/energy_links/electricity/Electricity_Gillian_Simmonds.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

202. Booth AThe digital utility: New opportunities and challenges [Электронный ресурс] / Booth A., Mohr N, Peters P. ; McKinsey : сайт. – 2016 – URL: https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-digital-utility-new-opportunities-and-challenges (дата обращения: 19.10.2020).

203. Spotlight on power and utilities infrastructure – formulas for success. Part 2: Maximizing asset performance in a digital and more sustainable world [Электронный ресурс] / EY. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiHrfiLtMHsAhXPiIsKHYlTAU8QFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fassets.ey.com%2Fcontent%2Fdam%2Fey-sites%2Fey-com%2Fen_gl%2Ftopics%2Fpower-and-utilities%2FEY-managing-power-assets-for-maximum-performance.pdf%3Fdownload&usg=AOvVaw0fdDta9cDoJBe1h1LBFc03 (дата обращения: 19.10.2020).

204. IT/OT Convergence [Электронный ресурс] / T&D World. – URL: https://www.tdworld.com/smart-grid/itot-convergence (дата обращения: 19.10.2020).

205. Tripathy P. How can utilities benefit from redefining their asset management strategies? [Электронный ресурс] / P. Tripathy. – Lands+Gyr, 2017. – URL: https://www.landisgyr.com/webfoo/wp-content/uploads/2017/01/LandisGyr_Rethinking-Asset-Management.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

206. Proactive transmission and distribution asset management. Utilizing advanced data management and predictive analytics [Электронный ресурс] / DNV GL. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYuL-6tMHsAhUml4sKHa3PDV8QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.dnvgl.com%2Fsoftware%2Fcampaigns-2016%2Fcascade-whitepaper-transmission-distribution-asset-management.html&usg=AOvVaw0UinWNZiH2kijq9rVhtd6p (дата обращения: 19.10.2020).

207. Asset Management Strategy vs Strategic Asset Management Plan (SAMP) – Has ISO got it wrong? [Электронный ресурс] / Assetivity. – URL: https://www.assetivity.com.au/article/asset-management/asset-management-strategy-vs-strategic-asset-management-plan-samp-has-iso-got-it-wrong.html (дата обращения: 19.10.2020).

208. Developing Asset Management Plans [Электронный ресурс] / Assetivity. – URL: https://www.assetivity.com.au/article/asset-management/developing-asset-management-plans.html (дата обращения: 19.10.2020).

209. Komonen K. Corporate asset management for industrial companies: an integrated business-driven approach / K. Komonen, H. Kortelainen, M. Räikkönen // Asset management. – Dordrecht: Springer, 2012. – Pp. 47–63.

210. Too E. A framework for strategic infrastructure asset management / E. Too // Definitions, concepts and scope of engineering asset management. – London: Springer, 2010. – Pp. 31–62.

211. Value-based Decision Making: A Best Practice of ISO 55000 [Электронный ресурс] / Copperleaf. – URL: https://resources.copperleaf.com/white-papers-2/value-based-decision-making-a-best-practice-of-iso-55000 (дата обращения: 19.10.2020).

212. Digital innovation.Creating the utility of the future [Электронный ресурс] / Deloitte Insights. – URL: https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/digital-transformation-utility-of-the-future.html (дата обращения: 19.10.2020).

213. Looking ahead: future market and business models [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.com/gx/en/utilities/publications/assets/pwc-future-utility-business-models.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

214. PwC «Окно возможностей для трансформации энергетического сектора закрывается» [Электронный ресурс] // Обзор мировой электроэнергетики : отчет. – PWC, 2018. – URL: https://www.pwc.ru/ru/energy-utilities-mining/publications/assets/pwc-obzor-mirovoy-elektroenergetiki-ru.pdf (дата обращения: 02.03.2020).

215. Johnson M.W. Reinventing your business model / M.W. Johnson, C.M. Christensen, H. Kagermann // Harvard business review. – 2008. – Т. 86, № 12. – С. 57–68.

216. Smart Energy: New Applications and Business Models / A. Abella [и др.] // Cuadernos Orkestra. – 2015.

217. Fedosova A. Client orientation of central power generation companies / A. Fedosova, I. Volkova // International Journal of Energy Sector Management. – 2018.

218. Сикацкий В.А. Инновационная бизнес-модель как фактор достижения конкурентных преимуществ фирмы / В.А. Сикацкий, Е.А. Курепина // Управленческое консультирование. – 2010. – № 3.

219. Официальный сайт ПАО «РусГидро» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: http://www.rushydro.ru/ (дата обращения: 10.04.2020).

220. Официальный сайт ООО «Газпром энергохолдинг» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://energoholding.gazprom.ru/ (дата обращения: 10.04.2020).

221. Официальный сайт ПАО «Интер РАО» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.interrao.ru/ (дата обращения: 10.04.2020).

222. Официальный сайт ПАО Энел Россия» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.enelrussia.ru/ (дата обращения: 12.04.2020).

223. Официальный сайт ПАО Фортум» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.fortum.ru/ (дата обращения: 12.04.2020).

224. Официальный сайт ПАО Юнипро» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.unipro.energy/ (дата обращения: 12.04.2020).

225. Официальный сайт ПАО «Т Плюс» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.tplusgroup.ru/ (дата обращения: 12.04.2020).

226. Официальный сайт АО «ЕвроСибЭнерго» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.eurosib.ru/ (дата обращения: 13.04.2020).

227. Официальный сайт ПАО «Россети» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: http://www.rosseti.ru/ (дата обращения: 15.04.2020).

228. Официальный сайт АО «БЭСК» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://bashes.ru/ (дата обращения: 17.04.2020).

229. Официальный сайт ОАО «ИЭСК» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: http://irk-esk.ru/ (дата обращения: 17.04.2020).

230. Официальный сайт ПАО «СУЭНКО» : сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: https://www.suenco.ru/ (дата обращения: 17.04.2020).

231. Официальный сайт ПАО «Дагестанская энергосбытовая компания»: сайт [Электронный ресурс]. – М., 2020. – URL: http://www.dag-esk.ru/ (дата обращения: 18.04.2020).

232. Развитие инновационных экосистем вузов и научных центров [Электронный ресурс] / РВК. – URL: https://www.rvc.ru/upload/iblock/06b/Innovation_ecosystem_analytical_report.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

233. Яковлева А. Факторы и модели формирования и развития инновационных экосистем : специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»: дис. на соискание уч. степ. канд. экон. наук / А. Яковлева ; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – М., 2012. – 244 с.

234. Смородинская Н. Сетевые инновационные экосистемы и их роль в динамизации экономического роста / Н. Смородинская // Инновации. – 2014. – Т. 7. – № 189. – С. 27–33.

235. Predators and Prey: A New Ecology of Competition [Электронный ресурс] / J. Moore. – URL: https://hbr.org/1993/05/predators-and-prey-a-new-ecology-of-competition (дата обращения: 19.10.2020).

236. Your strategy needs a strategy [Электронный ресурс] / K. Haanaes, H. Yu, J. Jordan. – URL: https://www.imd.org/research-knowledge/articles/your-strategy-needs-a-strategy/ (дата обращения: 19.10.2020).

237. Do You Need a Business Ecosystem? [Электронный ресурс] / U. Pidun, M. Reeves, M. Schüssler. – URL: https://www.bcg.com/publications/2019/do-you-need-business-ecosystem.aspx?linkId=76155487&fbclid=IwAR0o6RAC7TAlcC7HowycSlGKcP5mislwWHioFP6k0Mt7wLHRgogk8DCTqE&redir=true (дата обращения: 19.10.2020).

238. Сорокина А. Международный опыт применения «песочниц» [Электронный ресурс] / А. Сорокина. – URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/dmi/workgroup/materials/Documents/Международный%20опыт%20применения%20песочниц.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

239. Как извлечь выгоду из трансформации традиционных цепочек создания стоимости [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.ru/ru/power-and-utilities/assets/technology_innovation_rus.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

240. Matla P. New Energy Challenge 2017: Startups focus on interface between energy and automation [Электронный ресурс] / P. Matla. – URL: https://energypost.eu/new-energy-challenge-2017-startups-focus-on-interface-between-energy-and-automation/ (дата обращения: 19.10.2020).

241. Weisshaupt T. The Evolving Energy Ecosystem [Электронный ресурс] / T. Weisshaupt. – URL: https://www.power-grid.com/2017/04/01/the-evolving-energy-ecosystem/#gref (дата обращения: 19.10.2020).

242. The Global Cleantech Innovation Index 2017 [Электронный ресурс] / Cleantech Group, WWF. – URL: https://wwf.fi/app/uploads/2/n/l/5njozhvdv3luu5ebfk7urng/global_cleatech_innovation_index_2017_final_web.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

243. Mueller M. Building an Innovation Ecosystem [Электронный ресурс] / M. Mueller. – URL: https://www.energy.gov/eere/ampedup/articles/building-innovation-ecosystem (дата обращения: 19.10.2020).

244. Dondofema R. Conceptualising innovation platforms through innovation ecosystems perspective / R. Dondofema, S. Grobbelaar // IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). – 2019. – Pp. 1–10.

245. Millard M. What Is an Innovation Ecosystem and How Are They Essential for Startups? [Электронный ресурс] / M. Millard. – URL: https://masschallenge.org/article/startup-innovation-ecosystem-explained (дата обращения: 19.10.2020).

246. Mapping the Clean Energy Innovation Investment Ecosystem [Электронный ресурс] / CleantechGroup. – URL: http://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2017/06/Clean-Energy-Investment-Ecosystem-June-2017.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

247. Customer engagement in an era of energy transformation [Электронный ресурс] / PwC. – URL: https://www.pwc.ru/ru/power-and-utilities/publications/assets/pwc-customer-engagement.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

248. Financing the Low-Carbon Future [Электронный ресурс] / Climate Finance Leadership Initiative (CFLI). – URL: https://data.bloomberglp.com/company/sites/55/2019/09/Financing-the-Low-Carbon-Future_CFLI-Full-Report_September-2019.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

249. Clean energy innovation ecosystem in the SME sector in india [Электронный ресурс] // WWF. – URL: https://wwfin.awsassets.panda.org/downloads/clean_e__innovation_ecosystem.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

250. Mapping and Assesment of Ecosystems and their services [Электронный ресурс] / European Union. – URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/index_en.htm (дата обращения: 19.10.2020).

251. Patterson W. Energy as a service: light, heat, mobility, information [Электронный ресурс] / W. Patterson. – URL: https://energypost.eu/stop-selling-electricity-start-selling-the-service-light-heat-mobility-information/ (дата обращения: 19.10.2020).

252. Financing the Low-Carbon Future [Электронный ресурс] / Climate Finance Leadership Initiative (CFLI). – URL: https://data.bloomberglp.com/company/sites/55/2019/09/Financing-the-Low-Carbon-Future_CFLI-Full-Report_September-2019.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

253. Khokhlov A. Distributed energy resources in Russia: Development Potential / A. Khokhlov, Y. Melnikov, F. Veselov. – M. : SKOLKOVO Energy Centre, 2018. – 54 p.

254. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года [Электронный ресурс] / Минэнерго РФ. – URL: https://minenergo.gov.ru/node/8504 (дата обращения: 19.10.2020).

255. Обзор электроэнергетической отрасли России [Электронный ресурс] / EY. – 2018. – URL: https://ru.investinrussia.com/data/file/EY-power-market-russia-2018.pdf (дата обращения: 19.10.2020)..

256. Актуальные технологии для рынка электроэнергетики [Электронный ресурс] / Tadviser. – URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Актуальные_технологии_для_рынка_электроэнергетики#.D0.9F.D0.BB.D0.BE.D1.89.D0.B0.D0.B4.D0.BA.D0.B8_.D0.B0.D0.BF.D1.80.D0.BE.D0.B1.D0.B0.D1.86.D0.B8.D0.B9_.D0.BD.D0.BE.D0.B2.D1.8B.D1.85_.D1.82.D0.B5.D1.85.D0.BD.D0.BE. (дата обращения: 19.10.2020).

257. Словарь НТИ [Электронный ресурс] / НТИ. – URL: https://www.nti2035.ru/nti/reference/ (дата обращения: 19.10.2020).

258. Экосистема НТИ [Электронный ресурс] / НТИ. – URL: https://www.nti2035.ru/nti/eco (дата обращения: 19.10.2020).

259. Матрица НТИ [Электронный ресурс] / НТИ. – URL: https://www.nti2035.ru/matrix/img/matrix_nti_2018.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

260. Ключевые сегменты рынка [Электронный ресурс] / Энерджинет НТИ. – URL: https://www.nti2035.ru/markets/energynet (дата обращения: 19.10.2020).

261. Реестр проектов Энерджинет НТИ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nti2035.ru/docs/EnergyNet.pdf (дата обращения: 19.10.2020).

262. Cornerstone of future growth: Ecosystems [Электронный ресурс] / Accenture. – URL: https://www.accenture.com/us-en/insights/strategy/cornerstone-future-growth-ecosystems (дата обращения: 19.10.2020).

263. Кваша Е.М. Эффективные инновации, или насколько выгодно применять реклоузеры? [Электронный ресурс] / Е.М. Кваша // Энергия и Менеджмент. – 2009. – № 5 (50). – URL: http://www.web-energo.by/page.php?form_id=565 (дата обращения: 19.10.2020).

264. Башмаков И.А. Повышение эффективности энергоснабжения в северных регионах России / И.А.Башмаков // Энергосбережение. – 2017. – № 2. – С. 46–53

265. Освоение минерально-сырьевых ресурсов севера: варианты энергоснабжения / И.Ю.Иванова [и др.] // Регион: Экономика и социология. – 2011. – № 4. – С. 187–199.

266. Санеев Б.Г. Развитие возобновляемой энергетики на востоке России в первой половине XXI века на фоне общероссийских тенденций / Б.Г. Санеев, И.Ю. Иванова, Т.Ф. Тугузова // Энергетическая политика. – 2016. – № 3. – С. 66–73.

267. Санеев Б.Г. Возобновляемые источники энергии в региональных программах энергетики на востоке России: предпосылки и рациональные масштабы / Б.Г. Санеев, И.Ю. Иванова, Т.Ф. Тугузова // Энергетик. – 2014. – № 3. – С. 6–9.

268. Энергетическое снабжение изолированных территорий России / В.В. Елистратов // Академия энергетики. – 2015. – № 4 (66). – С. 26–33.

269. Елистратов В.В. Автономное энергоснабжение территорий России энергокомплексами на базе возобновляемых источников энергии / В.В. Елистратов // Энергетический вестник. – 2016. – № 21. – С. 42–49.

270. Иванова И.Ю. Развитие малой энергетики на северо-востоке России: проблемы, эффективность, приоритеты / И.Ю. Иванова, Т.Ф. Тугузова, С.П. Попов // Труды Междунар. науч.-практ. конф. «Малая энергетика – 2006», 21–24 ноября 2006 г., Москва. – М. : ОАО «Малая энергетика», 2006. – 370 с.

271. Возобновляемые энергетические ресурсы Сахалинской области: оценка и приоритеты использования / И.Ю. Иванова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2010. – № 1 – С. 102–107.

272. Тугузова Т.Ф. Оценка технико-экономической эффективности энергоснабжения изолированных потребителей: На примере Иркутской области : дис. … канд. техн. наук : 05.14.01 / Т.Ф. Тугузова. – Иркутск, 2004. – 151 с.

273. Турышева А.В. Экономическое обоснование способа электроснабжения нефтегазовых объектов [Электронный ресурс] / А.В Турышева // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 5. – URL: http://web.snauka.ru/issues/2014/05/35059 (дата обращения: 19.11.2016).

274. Технико-экономический анализ применения ветро-дизельных электростанций для электроснабжения энергоудаленных поселений / Е.Н. Соснина [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 1. – С. 65–72.

275. Соснина Е.Н. Вопросы электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры / Е.Н.Соснина, А.Ю. Кечкин, Д.А. Филатов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 5. – С. 100–105.

276. Дмитриенко В.Н. Выбор мощности генерирующего оборудования автономной солнечно-дизельной электростанции мегаваттного класса / В.Н. Дмитриенко, Б.В. Лукутин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 4. – С. 61–66.

277. Саврасов Ф.В. Расчет эффективности использования автономных систем электроснабжения с фотоэлектростанциями в условиях Западной Сибири / Ф.В. Саврасов, Б.В. Лукутин // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 6. – С. 17–21.

278. Marchenko O.V. Efficiency of hybrid renewable energy systems in Russia / O.V. Marchenko, S.V. Solomin // International Journal of Renewable Energy Research. – 2017. – Vol. 7. – № 4. – Pp. 1561–1569.

279. Коновалова Л.П. Электроснабжение децентрализованных потребителей Томской области с использованием возобновляемых источников энергии : автореф. дис. . канд. техн. наук : 05.09.03 / Л.П. Коновалова. – Томск, 2007. – 22 с.

280. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. [Электронный ресурс]. – URL: http://minenergo.gov.ru/node/1026 (дата обращения: 22.12.2016).

281. ГОСТ Р 54531-2011. Нетрадиционные технологии. Возобновляемые и альтернативные источники энергии. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/ 1200097331 (дата обращения: 05.06.2018).

282. Presnell K. Exporting Australia's remote area power supply industry / K. Presnell // Renewable Energy. – 2001. – Vol. 22, Issues 1–3. – Pp. 353–360.

283. Hirose T. Standalone hybrid wind-solar power generation system applying dump power control without dump load / T. Hirose, H. Matsuo // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59, Issue 2. – Pp. 988–997.

284. Thiam D-R. Renewable decentralized in developing countries: appraisal from microgrids project in Senegal / D-R.Thiam // Renewable Energy. – 2010. – Vol. 35. – Pp. 1615–1623.

285. Sreeraj E.S. Design of isolated renewable hybrid power systems / E.S. Sreeraj, K. Chatterjee, S. Bandyopadhyay // Solar Energy. – 2010. – Vol. 84 (7). – P. 1124–1136.

286. Mondal A.H. Hybrid systems for decentralized power generation in Bangladesh / A.H. Mondal, M. Denich // Energy for Sustainable Development. – 2010. – Vol. 14. – Pp. 48–55.

287. Mipoung O.D. Frequency support from a fixed-pitch type-2 wind turbine in a diesel hybrid mini-grid / O.D. Mipoung, L.A. Lopes, P. Pillay // IEEE Transactions on Sustainable Energy. – 2014. – Vol. 5. – P. 110–118.

288. Rolland S. Switched on to mini grids / S. Rolland // Renewable Energy Focus. – 2011. – Vol. 12. – Pp. 10–12.

289. MILP model to design hybrid wind-photovoltaic isolated rural electrification projects in developing countries / L. Ferrer-Martí [и др.] // European Journal of Operational Research. – 2013. – Vol. 226. – P. 293–300.

290. White paper on Integration of consortium Energy Resources / R. Lasseter [и др.] // The CERTS MicroGrid Concept. CERTS, CA, Rep.LBNL-50829. – 2002. – 27 p.

291. Luo Y. Optimal sizing and control strategy of isolated grid with wind power and energy storage system / Y. Luo, L. Shi, G. Tu // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 80. – Pp. 407–415.

292. Hatziargyriou N. Microgrids: Large Scale integration of Micro-Generation to low Voltage Grids [Электронный ресурс] / N. Hatziargyriou // EU contact ENK5-CT-2002-00610, Technical Annex – 2002. – URL: http://microgrids.eu/micro2000/presentations/19.pdf (дата обращения 19.10.2020).

293. Mumtaz F. Planning, operation, and protection of microgrids: An overview / F. Mumtaz, I.S. Bayram // Energy Procedia. – 2017. – Vol. 107. – Pp. 94–100.

294. Microgrid Evolution Roadmap Engineering, Economics, and Experience / M. Chris [и др.] // International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST15). – 2015.

295. Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities / Y.Yoldaş [и др.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 72. – Pp. 205–214.

296. Chowdhury S. Microgrids and Active Distribution Networks / S. Chowdhury, S.P. Chowdhury, P. Crossley. – London : The Institution of Engineering and Technology, 2009. – 321 p.

297. Tan Y. A review of technical challenges in planning and operation of remote area power supply systems / Y. Tan, L. Meegahapola, K.M. Muttaqi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 38. – Pp. 876–889.

298. Dali M. Hybrid solar-wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: control and energy management – experimental investigation / M. Dali, J. Belhadj, X. Roboam // Energy. – 2010. – Vol. 35. – Pp. 2587–2595.

299. Farag H.E. Voltage and reactive power impacts on successful operation of islanded microgrids / H.E. Farag, M.M.A. Abdelaziz, E.F. El-Saadany // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – Vol. 28. – Pp. 1716–1727.

300. A review on control of AC microgrid / K.S. Rajesh [и др.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 71. – Pp. 814–819.

301. Majumder R. Some aspects of stability in microgrids / R. Majumder // IEEE Transactions on Power Systems. – 2013. – Vol. 28. – P. 3243–3252.

302. Cagnano A. Prince – Electrical Energy Systems Lab A pilot project for smart microgrids / A. Cagnano, E. De Tuglie, L. Cicognani // Electric Power Systems Research. – 2017. – Vol. 148. – P. 10–17.

303. Yilmaz S. Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey / S. Yilmaz, F. Dincer // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 77. – Pp. 344–352.

304. Mazidi P. Strategic maintenance scheduling in an islanded microgrid with distributed energy resources / P. Mazidi, M.A. Sanz Bobi // Electric Power Systems Research. – 2017. – Vol. 148. – Pp. 171–182.

305. Branco H. Battery energy storage systems as a way to integrate renewable energy in small isolated power systems / H. Branco, R. Castro, A.S. Lopes // Energy for Sustainable Development. – 2018. – Vol. 43. – Pp. 90–99.

306. Andrianesis P. The impact of wind generation on isolated power systems: The case of Cyprus / P. Andrianesis, G. Liberopoulos, C. Varnavas // IEEE Grenoble Conference. – 2013.

307. Noninterconnected Island Systems: The Greek Case / N. Hatziargyriou [и др.] // IEEE Electrification Magazine. – 2017. – Vol. 5. – Issue 2. – Pp. 17–27.

308. Development of power supply to isolated territories in Russia on the bases of microgrid concept / N.I. Voropai [и др.] // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2012.

309. Nayar C.V. Recent developments in decentralized mini-grid diesel power systems in Australia / C.V. Nayar // Applied Energy. – 1995. – Vol. 52. – Pp. 229–242.

310. Arriaga M. Renewable energy alternatives for remote communities in Northern Ontario, Canada / M. Arriaga, C.A. Canizares, M. Kazerani // IEEE Transactions on Sustainable Energy. – 2013. – Vol. 4. – P. 661–670.

311. Billinton R. Reliability evaluation of small stand-alone wind energy conversion systems using a time series simulation model / R. Billinton, Y. Cui // IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution. – 2003. – Vol. 150. – Pp. 96–100.

312. Sigrist L. Energy storage systems providing primary reserve and peak shaving in small isolated power systems: An economic assessment / L. Sigrist, E. Lobato, L. Rouco // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. – 2013. – Vol. 53. – Pp. 675–683.

313. Branco H. Battery energy storage systems as a way to integrate renewable energy in small isolated power systems / H. Branco, R. Castro, A.S. Lopes // Energy for Sustainable Development. – 2018. – Vol. 43. – Pp. 90–99.

314. A review on the virtual power plant: Components and operation systems / S. Ghavidel [и др.] // IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON). – 2016.

315. Saboori H. Virtual power plant (VPP), definition, concept, components and types / H. Saboori, M. Mohammadi, R. Taghe // Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). – 2011.

316. Zamani A.G. Day-ahead resource scheduling of a renewable energy based virtual power plant / A.G. Zamani, A. Zakariazadeh, S. Jadid // Applied Energy. – 2016. – Vol. 169. – Pp. 324–340.

317. Risk-averse profit-based optimal operation strategy of a combined wind farm-cascade hydro system in an electricity market / I.G. Moghaddam [и др.] // Renewable energy. – 2013. – Vol. 55. – Pp. 252–259.

318. Модель режимной надежности «активных» распределительных электрических сетей / Н.И. Воропай [и др.] // Известия РАН. Энергетика. – 2013. – № 6. – С. 70–79.

319. McDonald J. Adaptive intelligent power systems: Active distribution networks / J. McDonald // Energy Policy. – 2008. – Vol. 36. – № 6. – Pp. 4346–4351.

320. Planning of reliable active distribution systems / G. Celli [и др.] // CIGRE Session. – 2012.

321. Лебедева Н. Реклоузеры: насколько это выгодно? / Н. Лебедева // Кабель-news. – 2009. – № 3. – С. 22–23.

Приложение А

Ключевые элементы технологического базиса ИЭС

Таблица А. 1

Ключевые элементы технологического базиса ИЭС (адаптировано из [28])

Тип проекта	Ключевые технологии и оборудование	Системы и ПО	Функциональная сфера
1	*2*	*3*	*4*
Системы интеллектуального учета	Интеллектуальные приборы учета, оборудование домохозяйств, серверное оборудование, реле, оборудование для коммуникации	Системы управления приборами учета, оборудование для коммуникации, системы управления персоналом	Сбор выручки, снижение уровня хищений, уведомления о перебоях, составление графиков профилактик и ремонтов
Потребительские системы	Интеллектуальные энергопринимающие устройства, накопители тепла, термостаты, инфраструктура для зарядки электромобилей, накопители, инвертеры	Панели энергопотребления, системы управления потреблением, биллинг, технологии «grid-to-vehicle» и «vehicle-to-grid»[14]	Повышение осознанности потребления, управление спросом
Распределенные источники энергии	Оборудование для поддержания заданного качества электроэнергии в объединенной энергосистеме, коммуникационное, контролирующее оборудование для генерации, позволяющее задействовать ВИЭ и традиционные генерирующие установки вне зависимости от их подключенности к единой энергосистеме	–	Контроль, управление и мониторинг временно задействованных распределенных источников энергии, управление воздействиями на сеть

[14] Данные системы позволяют управлять потреблением электроэнергии определенного домохозяйства путем выбора электроэнергии из сети вне пиковых часов (например, ночью) и зарядки электромобилей. Одновременно они позволяют выдавать электроэнергию в сеть в часы пик, тем самым создавая положительное сальдо потребления данного домохозяйства [93–95].

Продолжение табл. А. 1

1	2	3	4
Управление спросом	Инфраструктура интеллектуальных приборов учета, точечные устройства/системы контроля энергопринимающего оборудования потребителей	Системы энергетического менеджмента, системы управления распределением, ГИС	Сдвиг нагрузки с целью снижения пиков, повышение осведомленности потребителей и предоставление им выбора, повышение гибкости системы, предотвращение системных событий, повышение тарифов, отличающихся по времени суток (англ. time-of-use tariff)
Накопители электроэнергии	Оборудование для поддержания заданного качества электроэнергии в объединенной энергосистеме, коммуникационное, контролирующее оборудование для генерации, позволяющее задействовать накопители и конвертировать энергоносители[15]	–	Контроль, управление и мониторинг накопителей
Автоматизация подстанций	Автоматические реклоузеры, переключатели и конденсаторы, распределенные источники генерации и накопители с дистанционным управлением, датчики на трансформаторах и кабеле	–	Оптимизация работы подстанции, поддержка использования upstream (генерация) и downstream (распределение) активов
Автоматизация распределения	Автоматические реклоузеры, переключатели и конденсаторы, распределенные источники генерации и накопители с дистанционным управлением, датчики на трансформаторах и кабеле	ГИС, системы управления распределением, системы управления перебоями, системы управления персоналом	Управление сетью в нормальном режиме и в условиях перебоев и обслуживания, минимизация влияния на потребителей

[15] В качестве примера может выступать технология конвертации избыточной электрической энергии (солнечной/ветряной) в газ [96].

Окончание табл. А. 1

1	*2*	*3*	*4*
Системы управления	ИКТ (включая системы коммуникации и безопасности, а также системы поддержки ГИС, управления распределением, управления перебоями, управления персоналом)	ГИС, системы управления распределением, системы управления перебоями, системы управления персоналом	Визуализация статуса системы и ее способности управлять режимами работы и профилактическими работами
ИКТ интеграция	Коммуникационное оборудование (ВЧ-связь по ЛЭП, глобальная совместимость для микроволнового доступа – WiMAX[16], LTE, WMN), роутеры, реле, переключатели, связные процессоры	Системы планирования ресурсов, системы с информацией о потребителях	Сбор, передача и анализ данных из электрической сети (для различных, специфических целей)
Управление активами	Сенсорика и коммуникационные технологии	Модели и методологии оценки состояния и безопасной нагрузки на установки и цепи	Управление и оптимизация использования и обслуживания активов

[16] Технология 4G, конкурирующая с LTE. Работает по принципу Wi-Fi, но отличается большей зоной покрытия (1 комплект «Вышка – ресивер» может передавать сигнал на расстояние до 48 км, в то время как Wi-Fi зона покрытия Wi-Fi не превышает 30 м) [97], [98].

Приложение Б

Опыт США в реформировании розничного рынка электроэнергетики

История изменения устройства энергетического рынка США также представляет собой значительный интерес. Данная страна является одной из самых сильных экономических государств мира, внутренняя среда которой характеризуется высокой степенью инвестиционного насыщения. А федеративное устройство территории приводит к тому, что разные штаты придерживаются различных программ преобразований, которые зачастую обусловлены особенностями внешних условий.

Положение электроэнергетического рынка США до конца 1980-х гг. можно охарактеризовать как регулируемую монополию. В этот период основу представляли вертикально-интегрированные компании, занимающиеся генерацией электроэнергии и одновременно владеющие сетевой инфраструктурой.

Данное положение было обусловлено доминирующей в тот момент теорией, утверждающей, что именно такая концентрация энергетических ресурсов позволяет обеспечивать эффективное производство электрической энергии и доставку ее потребителям.

В этот период отсутствовали какие-либо федеральные программы преобразования РЭЭ, а принятие текущих решений находилось в рамках компетенций отдельных штатов.

Одним из предвестников необходимости проведения всеобщей реформы стал нефтяной кризис, разразившийся в 1973–1974 гг., и который привел к существенному росту цен на органическое топливо. В это же время ВИК осуществляли значительные инвестиции в развитие атомной энергетики, что в совокупности с неблагоприятными внешними условиями привело к росту тарифов на электрическую энергию.

После данных событий власти страны всерьез заговорили о принятии решений, способствующих применению новых источников энергии, расширении сфер их пользования и повышении эффективности в целом. В результате в 1978 г. Конгрессом США был принят Закон о политике регулирования в области коммунальных услуг (PURPA). Именно данный нормативный акт стал основополагающим для проведения в дальнейшем реформы в электроэнергетике.

Ключевым изменением, вызванным принятием данного закона, стало возникновение новой категории генераторов – «квалифицированных электростанций». Данные электростанции имели установленную мощность до 50 МВт и в своей деятельности использовали возобновляемые источники энергии и когенерационные установки, которые позволяли получать два вида энергии одновременно – тепловую и электрическую.

Изменения, произошедшие благодаря данному закону, привели к возникновению конкуренции на *оптовом* рынке электроэнергии, так как

он открыл доступ новым производителям. Рост таких «квалифицированных электростанций» и сопутствующий технологический прогресс постепенно приводили к уменьшению доли рынка у ВИК.

Продолжение реформирования отрасли ознаменовалось принятием в 1992 г. Конгрессом США Закона об энергетической политике (EPACT). В соответствии с данным нормативным актом возникала отдельная категория производителей электрической энергии, не имеющих отношение к ВИК, освобожденных от уплаты налогов. Они могли формировать цену на свою электроэнергию согласно рыночной ситуации и не подвергались тарифному регулированию. Такие изменения способствовали развитию конкурентного ценообразования и способствовали усилению конкуренции. Последнее достигалось путем четкого разделения видов деятельности по их организации:

− естественно-монопольные (передача электрической энергии и ОДУ);

− конкурентные (производство энергии, передача, сбыт, услуги по ремонту и сервису).

Проведенная реформа своей целью имела формирование конкурентной среды на *оптовом* рынке за счет увеличения числа независимых производителей электроэнергии. Тем не менее, в конечном итоге благодаря снижению оптовой цены электрической энергии розничные цены также должны были снизиться.

Исполнение закона EPACT было возложено на Федеральную комиссию по регулированию в области энергетики (FERC), которая в свою очередь издала ряд поддерживающих реформу приказов:

− приказ № 888 сделал возможным передачу ВИК услуги управления распределительными сетями независимым системным операторам (ISO);

− приказом № 889 была организована информационная система (OASIS), участие частных компаний в которой было обязательно;

− приказом № 2000 от 2000 г. была создана Региональная передающая компания (RTO), в функции которой входил контроль за управлением магистральными сетями региона и, как следствие, передача электроэнергии.

На данный момент на территории США действуют различные системные операторы и передающие компании. Так, на территории Нью-Йорка функционирует независимый системный оператор NYISO, на территории Калифорнии – CAISO, региональная передающая компания PJM контролирует передачу энергии на территории тринадцати штатов и округа Колумбии.

Проводимая реформа имела широкий охват и в целом должна была привести к формированию цены на электроэнергию на основе реального спроса и предложения и созданию конкурентных рынков с использованием новых методов торговли.

Что касается уровня конкуренции на *розничном* рынке, то он сильно варьируется в зависимости от штата и первоначальных условий, в которых

начала проводиться реформа. Поскольку она затронула более 20 штатов, которые, как указывалось ранее, зачастую реализуют различающиеся политики, конечное устройство их РРЭ различается.

Тем не менее, все преобразования вписываются в одну из приведенных ниже моделей:

– «No default service»;
– «Market pass-through»;
– «Auction or request for proposal (RFP)»;
– «Hybrid or other» [169–171, 173, 174].

Первая модель характерна для штата Техас, который является лидером по потреблению электрической энергии в США. Данный регион представляет собой один из самых успешных примеров реформирования электроэнергетики, а его *розничный* рынок считается самым конкурентным в Америке.

В основе данной модели лежало положение о том, что компании, обеспечивающие потребителей энергией, должны быть разделены на три группы:

– генерирующие компании;
– розничные поставщики электроэнергии;
– предприятия, занимающиеся передачей и распределением электроэнергии.

Именно с оглядкой на эту парадигму в 2000 г. Комиссия по коммунальным услугам штата (PUC) начала производить сертификацию розничных поставщиков электроэнергии.

В январе 2002 г. был организован конкурс, во время которого клиенты могли выбрать себе поставщика электроэнергии. Но это касалось в основном территорий, контролируемых Советом по надежности электроэнергетики штата Техас (ERCOT) – то есть категорий потребителей, не относящихся к кооперативам, отказавшихся от конкуренции.

Пример Техаса может считаться успешным, поскольку проведенные изменения способствовали не только созданию, но и дальнейшему усилению конкуренции. Причинами положительных результатов политики считаются следующие факторы, характерные для данного штата:

– *четкое разделение видов деятельности* (генерация, передача и распределение, сбыт). Подобная практика препятствовала возникновению ВИК и процессу монополизации отрасли;

– *установление стоимости услуг по умолчанию*. На протяжении пяти лет: с 2002 по 2007 гг. стоимость услуг устанавливалась с помощью механизма Price to Beat (PTB). После завершения применения данного инструмента рынок ERCOT может быть охарактеризован как полностью конкурентный;

– *широкие полномочия Комиссии по коммунальным услугам штата*. Эта комиссия – единственная в США, которая имеет право действия как на *оптовом*, так и на *розничном* рынке электроэнергии. Более того, она не находится под жестким регулированием Федеральной комиссии по регулированию в области энергетики;

− *применение модели единственного продавца*. Взаимодействие компаний, занимающихся передачей и распределением электроэнергии, в Техасе с клиентами ограничено. Они обязаны продать свои услуги сбытовым компаниям, которые взаимодействуют непосредственно с потребителями.

Таким образом, *розничный* рынок электроэнергии Техаса является конкурентным: на нем функционируют различные сбытовые компании, цена формируется в зависимости от соотношения спроса и предложения – то есть наблюдается полноценное рыночное ценообразование. При этом отклонения могут возникнуть лишь в том случае, если на *оптовом* рынке произойдут какие-либо сбои.

Вторая модель *розничного* рынка электроэнергии характерна для штата Нью-Йорк. Данный случай также уникален, потому что на территории данного штата нет закона о реформе электроэнергетической отрасли, который требовал бы предоставление выбора клиенту.

В 1996–1997 гг. были установлены индивидуальные соглашения об урегулировании коммунальных услуг, на основе которых осуществлялся розничный выбор. Данный процесс находился в ведении Комиссии по коммунальным услугам Нью-Йорка (PSC). Конкурс был закончен к 2002 г.

В настоящее время рыночные отношения штата находятся в процессе трансформации – в рамках реализации программы REV (Reforming the Energy Vision). Целью данной программы является перестройка рынка на следующих принципах:

− интеграция распределенной генерации, накопителей и микросетей;

− создание виртуальных электростанций для снижения пиков мощности в системе и пр.

Структура рынка представлена двумя компонентами: *оптовым* и *розничным*. И для полноценного понимания работы *розничного* рынка необходимо привести краткую характеристику *оптового*.

Так, в Нью-Йорке *оптовый рынок* находится в ведении независимого системного оператора (NYISO). На нем реализован принцип зонального ценообразования (цены на электрическую энергию рассчитываются на основании агрегирования узловых цен, но расчеты осуществляются по зональным ценам) на каждый час будущих суток. Поставщиками электроэнергии являются генераторы, а покупатели представлены тремя ключевыми игроками:

− локальные энергоснабжающие компании;

− НЭСК;

− крупные потребители.

Услуги по передаче по магистральным линиям возложены на независимого СО. Они основаны на договорах, заключенных с владельцами магистральных сетей.

Что касается *розничного* рынка электроэнергии Нью-Йорка, то локальные энергоснабжающие компании совмещают деятельность по передаче электрической энергии по распределительным сетям с деятельностью по сбыту ее конечным потребителям. Потребители имеют право выбирать поставщика электроэнергии – в таком случае они будут оплачивать услуги по передаче по установленному локальной энергоснабжающей компанией тарифу.

В ходе реализации REV планируется масштабная модернизация РРЭ с фокусом на максимизацию использования потенциала распределенной генерации:

– изменение принципа учета топологии электросети при определении розничной цены электроэнергии;

– агрегация распределенных ресурсов с последующим их предоставлением на *оптовом* рынке;

– постепенное усложнение торговых взаимоотношений (начиная от прямых закупок распределенных ресурсов на *розничных* рынках по заранее фиксированным ценам (которые бы отражали в себе преимущества данных видов ресурсов для системы в целом) и заканчивая введением механизмов конкурентной торговли на *розничных* рынках – т. е. внедрением специализированных аукционов).

Отдельного внимания заслуживают разработки компании TCR (43) в области развития *розничного* рынка электроэнергии Нью-Йорка. Главными изменениями, необходимыми, по мнению авторов документа, являются (рис. Б. 1 и Б. 2):

– трансформация ценообразования на распределенные энергоресурсы на принципах узлового ценообразования;

– предложение создать торговую площадку (платформу) для реализации конкурентных торгов электрической энергией и формирования тесной связки двух рынков – *оптового* и *розничного*.

У розничных потребителей есть возможность приобретать электроэнергию по рыночным ценам у энергосбытовой компании. В этом случае выбор электроэнергии осуществляется у соответствующей распределительной компании. Те потребители, которые не желают приобретать электроэнергию у энергосбытовой компании, покупают «готовый пакет услуг» у распределительной компании, в который уже включена плата за услуги по передаче и поставке электроэнергии. В настоящее время энергосбытовые компании удовлетворяют 72 % спроса со стороны коммерческих и промышленных потребителей и 21 % спроса со стороны коммунального сектора.

В целевой модели рынка распределительные компании продолжат предоставлять 2 типа услуг: поставка электроэнергии и услуги ГП. Тем не менее, как провайдеры платформенных услуг, распределительные компании будут ответственны за интеграцию распределенных энергоресурсов в пакет сервисов, которые они предоставляют на обслуживаемых террито-

риях. Для этого у них появятся финансовые стимулы: чистая выручка от разницы между сборами за потери на уровне маржинальной стоимости электроэнергии и фактической стоимостью предоставления этих потерь.

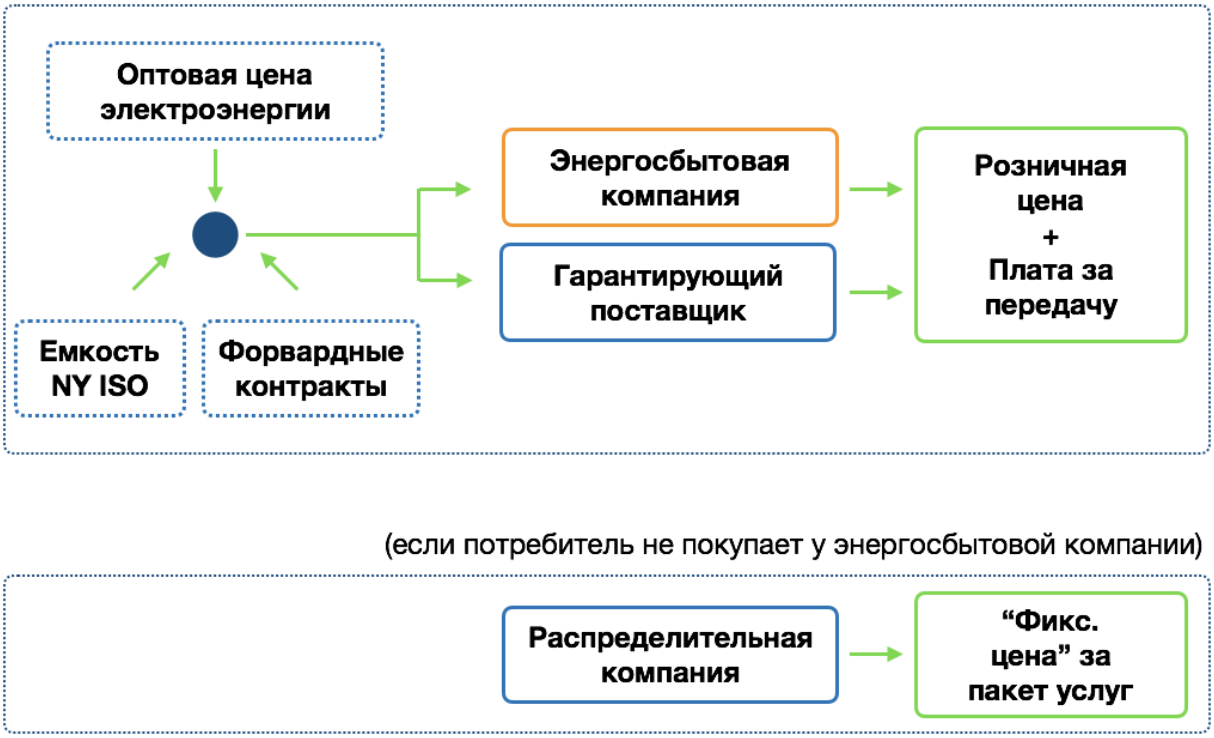

Рис. Б. 1. Текущая структура розничного рынка электроэнергии Нью-Йорка (схематично)

На площадке будет осуществляться торговля электроэнергией на уровне *розничных* рынков как на краткосрочную, так и на долгосрочную перспективу. Краткосрочные торги (на сутки вперед) будут осуществляться только после объявления результатов торгов на *оптовом* рынке и перед фактической поставкой электроэнергии.

Изменение принципов определения тарифов на передачу по распределительным сетям не предлагается. Они по-прежнему будут определяться на основании показателя необходимой валовой выручки сетевой компании.

В основе **третьей** модели лежит принцип проведения закупок электроэнергии на аукционе. При этом тарифы могут сильно варьироваться в зависимости от класса клиента. Подобная модель реализована на рынке электроэнергии штата Пенсильвания.

Исторически цена на электроэнергию в данном регионе была одной из самых высоких. Процесс преобразований начался в 1996 г. путем создания законопроекта, который предусматривал введение доступа потребителей к выбору поставщика. Однако услуги по передаче и распределению остаются, как и прежде, неконкурентными.

Была реализована крупная программа по вовлечению потребителей в происходящие процессы. Также были разработаны меры для привлече-

ния производителей энергии, которые в своей деятельности использовали бы ВИЭ. Именно в рамках реализации данной программы в 2000 г. была построена крупнейшая ветровая электростанция в стране.

Рис. Б. 2. Целевая структура розничного рынка электроэнергии Нью-Йорка (схематично)

В штате Пенсильвании электроэнергия реализуется в основном через аукционы, при этом заключаемый срок контракта обычно рассчитан на краткосрочный период. Причиной подобного является то, что применяемый ранее механизм формирования ценовых ставок на основании нерыночных механизмов показал свою неэффективность.

Четвертая модель – гибридная, которая может включать характеристики описанных выше. Подобные модели применяются в штатах Мичиган и Калифорния. Причем Калифорния, в отличие от представленных ранее успешных примеров преобразований, является неудачным примером подобной практики.

В 1996 г. власти приняли решение выделить генерирующее оборудования основных компаний электроэнергетического рынка штата (Pacific Gas and Electric, South California Edison и San Diego Gas & Electric). Подобное выделение происходило в принудительном порядке – для компаний были установлены предельные тарифы на энергию на *розничном* рынке. Также был образован спотовый рынок, действующий по принципу «гол-

ландский аукцион». В этот же период рынок Калифорнии переживал быстрый экономический рост, что в свою очередь приводило к повышению уровня энергопотребления. Однако строительство новых мощностей было законодательно ограничено.

В 1999 г. одна из трех компаний продала свои генерирующие мощности, после чего для нее был снят предельный розничный тариф. Это привело к повышению розничных цен на электроэнергию. Однако под влиянием давления общественности властям штата пришлось снизить цены, что негативно сказалось на финансовом положении компаний.

Кроме того, в 2001 г. разразился энергетический кризис, который знаменовался веерными отключениями потребителей, что привело к вынужденному повышению розничных цен на электроэнергию, что не могло сильно улучшить ситуацию, так как оптовые цены были еще довольно высоки. В такой ситуации мелкие производители энергии почувствовали наибольшее давление и приостановили свою деятельность. Разрешить кризис удалось только благодаря продаже энергии Калифорнии другими штатами.

После этого реструктуризация отрасли в штате была очень консервативной. Коммунальные предприятия получили разрешение вернуться к долгосрочным контрактам по закупкам энергии.

С 2009 г. стало разрешено переключение между поставщиками для клиентов – юридических лиц. У обычного населения также имеется ряд возможностей осуществить данное переключение, например, через Community Choice Aggregatio. Но размер данного агрегатора слишком мал, чтобы коренным образом повлиять на ситуацию. Таким образом, опыт США демонстрирует как успешные, так и не слишком успешные примеры трансформации *розничных* рынков электроэнергии [169–171, 173, 174].

Приложение В

Опыт Китая в реформировании розничного рынка электроэнергетики

До 1980 г. энергетическая отрасль Китая была полностью подконтрольна государственным структурам. Решения относительно развития рынка с центрального уровня благодаря сформированному бюрократическому аппарату передавались на региональный, откуда уже доходили до властей провинций и органов на местах.

В середине 1990-х гг. стала очевидной необходимость коренных преобразований в энергетической отрасли страны, которые бы позволили существовать в новых экономических условиях, порождаемых процессом либерализации по всему миру. Основными целями изменений были создание стимулов для развития конкурентной среды, повышение эффективности электроэнергетического комплекса, оптимальное распределение ресурсов, что было немаловажным, так как сетевая инфраструктура была неравномерно распределена по отдельным провинциям, из-за чего спрос на электроэнергию многих регионов удовлетворялся только частично. Также правительство страны собиралось усовершенствовать механизмы ценообразования и сократить общеотраслевые издержи. На фоне растущего уровня потребления электроэнергии важным было увеличение качества и количества энергоснабжения страны.

Таким образом, на данном этапе основными процессами должны были стать децентрализация и дерегуляция.

Первым шагом на пути данных преобразований можно считать вступление в 1995 г. в силу Закона об электроэнергетике (Electric Power Law). Данный период был благоприятным для проведения реформирования отрасли ввиду двух ключевых факторов:

− череды азиатских финансовых кризисов, которые снизили темп роста спроса на электроэнергию;

− наличия в отрасли избыточных мощностей.

Важным этапом реформы является создание в 1997 г. Государственной энергетической корпорации Китая (SPCC), которая взяла на себя функции управления Министерства электроэнергетики. Подчиняющиеся Министерству энергетические бюро были реструктуризированы в компании и теперь были подотчетны SPCC. Появление Государственной энергетической корпорации позволило отделить административное регулирование отрасли от коммерческой деятельности. Тем не менее, данная корпорация сохранила права владения на большую часть сетевой инфраструктуры и половину генерирующих объектов страны.

Следующий этап реформы в отличие от первого, который в основном был направлен на изменение сложившихся институтов управления в отрасли, имел своей целью изменение структуры рынка и правил его функционирования.

В 1998 г. основные функции и обязанности по управлению электроэнергетической отраслью Китая были возложены на Государственную экономическую и торговую комиссию (SETC).

В течение следующих пяти лет происходила реорганизация Государственной энергетической корпорации Китая. Было уделено внимание реорганизации подотчетных ей компаний в акционерные общества, экспериментам по разделению процесса генерации энергии и передачи и распределения в некоторых провинциях. Четыре региона Китая (Шанхай, провинция Шаньдун и пр.) в 1999 г. начали проводить пробные торги энергии электростанциями. При этом было выявлено, что тарифы были ограничены, и только небольшой процент всей мощности был передан в общий пул.

Также изменения претерпела и система ценообразования для генерирующих компаний. Теперь тариф на энергию устанавливался в зависимости от срока службы предприятия, а не от периода погашения долга. Данная политика называлась «тарифом операционного периода». Стоит отметить, что в этот период цены для конечных потребителей были завышены правительством для компенсации издержек отрасли.

Рассматриваемый период реформ позволил снизить уровень централизации деятельности и ослабить контроль со стороны государства, но при этом отмечался высокий уровень коррупции и нецелесообразное распределение мощностей.

Следующий этап реформ происходил между 2002 и 2005 гг. В рамках данного этапа было осуществлено следующее:

− проведена реструктуризация отрасли (в части имеющихся активов);

− осуществлены изменения в управляющих органах;

− реализована смена модели ценообразования.

В 2002 г. была реорганизована Государственная энергетическая корпорация. Ее активы по генерации энергии были распределены между следующими компаниями:

− The China Huaneng Power Group;

− The China Datang Corporation;

− The China Huadian Corporation;

− The China Guodian Corporation;

− The China Power Investment Corporation.

В процессе распределения активов соблюдался принцип равномерности. Так, ни одна из пяти компаний не получала более 20 % генерирующих мощностей на одном региональном рынке. Также эти компании были зарегистрированы на внутренней бирже, а некоторые и на международной.

Передача электроэнергии теперь закреплялась за Государственной электросетевой корпорацией и Южно-китайской электросетевой корпорацией, которые в свою очередь регулировали региональные и провинциальные сетевые компании. За распределение энергии отвечали районные распределительные сетевые компании, подчиняющиеся электросетевым корпорациям.

Несмотря на такой радикальный характер реформы, в целом в отрасли не было достигнуто ряда важный вещей:

− разделения деятельности по передаче и распределению электроэнергии;

− отделения функции управления сетью от права собственности на нее.

Относительно управляющих органов в электроэнергетической отрасли Китая был проведен также ряд изменений. Одним из ключевых стало основание в 2002 г. Государственной комиссии по регулированию электроэнергетики (SERC). К полномочиям данного органа относится:

− регулирование электроэнергетической отрасли страны;

− обеспечение отрасли нормативно-правовой базой;

− создание условий для развития добросовестной конкуренции на рынке;

− поддержание высокой работоспособности отрасли в целом;

− контроль за соблюдением норм экологического законодательства;

− формирование предложений о тарифообразовании исходя из текущей рыночной ситуации;

− контроль за соблюдением правовых актов.

В целом обязанности данной комиссии были широкими, но при этом ее полномочия в области экономического регулирования были намерено ограничены. Она могла только формировать предложения по изменениям тарифной политики, но все решения по ценообразованию принимала Национальная комиссия развития и реформ, подчиняющаяся Департаменту ценообразования.

Что касается реформирования управления в отрасли, то в 2003 г. были созданы два агентства: Энергетическое бюро и Государственная комиссия по надзору и управлению активами (SASAC). Это позволило объединить многие функции по регулированию, которые до этого были рассеяны между различными государственными структурами.

В части ценообразования в 2003 г. Государственным советом была издана «Схема ценовой реформы электроэнергии». В данном документе были рассмотрены изменения системы тарифов и развития конкуренции на *оптовом* и *розничном* рынках электроэнергии. Предусматривалось создание отдельных групп тарифов для генерации, передачи, распределения и сбыта.

На *оптовом* рынке планировалось ввести 2-компонентный тариф, включающий плату за электроэнергию (устанавливается непосредственно государственным органом) и плату за мощность (формируется исходя из конкуренции на рынке в региональных пулах).

Тариф на передачу и распределение должен был устанавливаться на основе критериев возмещения расходов, разумной прибыли и затрат по налогам. Изначально тарифы должны были распределяться в зависимости от возможности пользователя, при этом учитывались размер допустимой прибыли и капитальные затраты.

Для конечных пользователей при ценообразовании количество категорий было сокращено до трех: бытовые; сельскохозяйственные; промышленные и коммерческие. Первые 2 группы облагаются одинаковым тарифом, а последняя – двухчастным в зависимости от требуемой мощности.

В процессе трансформации происходил также ряд краткосрочных изменений. В 2003 г. Государственная комиссия по регулированию электроэнергетики выпустила документ «Основные принципы создания региональных энергетических рынков», в котором были изложены правила торговли электроэнергией. Так, к концу 2005 г. должны были быть созданы шесть региональных энергорынков с определенной системой регуляции. При этом цену за мощность определяло государство, а допустимая мощность устанавливалась путем конкуренции. Для тестирования данной системы в некоторых регионах были организованы торги, в которых на первом этапе сетевая организация была единственным покупателем, но далее круг покупателей был расширен.

К сожалению, подобные эксперименты потерпели неудачу из-за различного экономического развития провинций, что делало невозможным внедрение единой системы ценообразования. Значительное влияние также оказывал тот факт, что сетевые компании зачастую предпочитали осуществлять взаимодействие с определенными генераторами.

После этого власти Китая установили оптовые цены по методу «затраты-плюс», которые не давали предприятиям стимулов к повышению эффективности своей деятельности.

Несмотря на всесторонний характер проведенного реформирования, на рассматриваемом этапе коренных изменений отрасль не претерпела. Контроль оставался в руках властей и государственных компаний, а уровень конкуренции (в особенности на *розничном* рынке) оставался на критически низком уровне.

Следующий период реформы (2004–2008 гг.) ознаменовался резким увеличением спроса на электроэнергию и, как следствие, ростом ее генерации. Возникшая потребность заставила власти обратить внимание на увеличение пропускной способности сетей и инвестиции в развитие сектора, а также повышение его безопасности.

В это же время стали видны неудачи и последствия либерализации на рынках развитых стран, что повлияло на дальнейший план реформы в Китае. Также немаловажен тот факт, что к 2004 г. из-за возросшего потребления энергии и ее производства выбросы в атмосферу вредных веществ достигли своего пика и было необходимо принятие мер по их снижению.

Первым шагом в данном ключе событий стала публикация властями «Среднесрочного и долгосрочного плана сохранения энергии». Основной акцент был сделан именно на повышении энергоэффективности и увеличении энергосбережения. Особое внимание уделялось энергоемким отраслям и способам снижения уровня потребления энергии ими. Правительство устанавливало более высокие тарифы для предприятий таких отраслей.

Также в 2005 г. были организованы торги правами на производство энергии, в которой основной акцент делался на эффективность установок по выработке электроэнергии. Это позволило снизить использование угля и, как следствие, загрязнение окружающей среды.

Увеличение внимания к состоянию окружающей среды и меняющемуся климату привели к формированию климатической стратегии, основу которой составляло использование возобновляемых источников энергии. Власти Китая были нацелены на рост доли этого источника в общем производстве электроэнергии.

Как отмечалось ранее, в экономике страны возрос спрос на электроэнергию. Это привело к тому, что сами генерирующие компании начали осуществлять инвестиции в строительство новых заводов. При этом в основном строились угольные заводы, так как уголь был главным топливом на протяжении долгого периода в стране и временные и денежные затраты на создание таких предприятий были гораздо ниже прочих альтернатив. Тем не менее, применяемые при производстве электроэнергии технологии теперь были лучше и создавали меньше выбросов углекислого газа в атмосферу.

Также в рассматриваемый период были сделаны существенные инвестиции в сети передач и распределения, что снизило неравномерность обеспечения провинций энергией.

Если говорить о политике ценообразования, то сформированная ранее была неэффективна при новых сложившихся внешних условиях, так как делала энергетическую отрасль уязвимой от изменений на международных рынках энергии. Это происходило потому, что цены на уголь, который был основным источником для генерации электроэнергии, определялись на мировом рынке, а стоимость электроэнергии для конечного потребителя определяли власти Китая. В итоге правительство сделало ценообразование более гибким к возросшим ценам на уголь.

К 2008 г. возникла еще одна проблема. Несмотря на новые построенные заводы и инвестиции в увеличение мощностей, в стране начал резко увеличиваться дефицит электроэнергии. Это привело к вертикальной интеграции компаний, которые занимались добычей угля и производством энергии из него. Подобное изменение в отрасли увеличило риски антиконкурентного поведения таких компаний на рынке.

Что касается регулирования отрасли, то здесь государство только укрепило свой контроль и расширило полномочия. Бюро по энергетике было расширено и преобразовано в Национальную энергетическую администрацию (NEA). Контроль над ценообразованием также полностью остался в руках правительства.

Таким образом, можно видеть, как менялась электроэнергетическая отрасль Китая. К 2010 г. она представляла собой некую гибридную модель, в которой была сильна власть государства, а влияние рынка было минимальным. Такое положение дел в целом характерно для развивающихся стран, к тому же, как утверждают многие эксперты, именно такое жесткое

регулирование позволило Китаю преодолеть различные кризисы при наличии слабых институтов, которые могли подорвать процесс либерализации. Тем не менее, власти данной страны уделяли достаточное внимание инвестициям в отрасль и применению возобновляемых источников энергии.

Так, в 2011–2015 гг. реализовывался проект по внедрению на рынок технологии управления спросом, которая основывалась на построении интеллектуальной сети (Smart Grid). В проекте участвует системный оператор Китая (State Grid Corporation of China) и ряд крупных компаний. Такая программа позволит снизить пиковые нагрузки и провести оптимизацию деятельности компаний, что в целом положительно скажется на *оптовом* и *розничном* рынках страны. Применение интеллектуальных счетчиков также активно поощряется властями. Те потребители, которые используют специальные устройства, могут оплачивать потребленную энергию по более выгодным тарифам [175–178].

Розничный сектор китайского электроэнергетического рынка в настоящее время не является конкурентным (более 80 % объемов поставок электрической энергии осуществляются государственными предприятиями). Он контролируется как государством, так и основными распределительными компаниями. Главными участниками *розничного* рынка являются:

– Китайская южная энергосетевая компания (China Southern Power Grid);

– Государственная сетевая корпорация Китая (State Grid Corporation of China);

– их дочерние компании, которые осуществляют процесс распределения энергии на территории регионов и провинций.

Схематично структуру *розничного* рынка электроэнергии Китая можно представить следующим образом (рис. В. 1).

В состав Государственной сетевой корпорации Китая входит пять региональных сетевых компаний, каждая из которых контролирует распределение электроэнергии в провинциях:

– Northeast China Power Grid Company;
– North China Power Grid Company;
– Central China Power Grid Company;
– East China Power Grid Company;
– Northwest China Power Grid Company.

Распределение электрической энергии в провинциях осуществляется региональными сетевыми компаниями. Тем не менее, в настоящее время происходит существенная трансформация данного рынка. Так, в 2015 г. Национальным советом по развитию и реформам был опубликован документ, содержащий предложения по этапам реформирования *розничного* сектора электроэнергетического рынка. В результате планируется перейти от рынка прямых покупок к полноценному *розничному* рынку и в итоге к реализации концепции «интернет энергии» (в пилотной форме) (табл. В. 1).

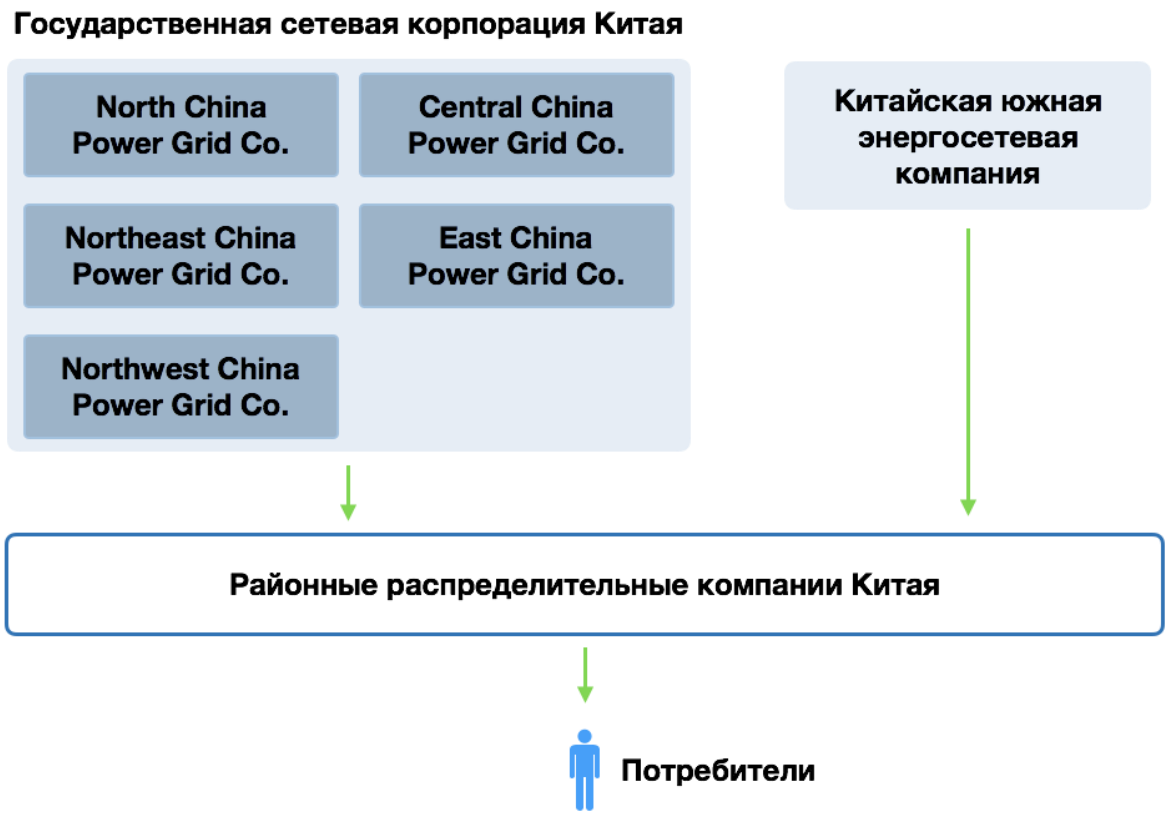

Рис. В. 1. Структура розничного рынка электроэнергии Китая

Таблица В. 1

Этапы трансформации розничного рынка электроэнергии в Китае

	1 этап Прямые закупки электроэнергии крупными потребителями	**2 этап** Розничный рынок	**3 этап** Интернет энергии
Характеристики рынка	Прямые покупки электроэнергии крупными потребителями	Формирование структуры *розничного* рынка	Реформа энергетики для развития «интернета энергии»
Потребители	Крупные коммерческие и промышленные потребители, соответствующие требованиям доступа	Прочие пользователи рынка	Пользователи различной энергетической формы
Ключевые продавцы	Дочерние предприятия группы генерирующих компаний	Независимые энергосбытовые компании	Несколько энергоинтегрирующих компаний
Сервисы по продаже электроэнергии	Долгосрочные контракты на поставку электроэнергии	Кастомизированные/персонализированные сервисы и диверсифицированные пакеты услуг	Интегрированные энергетические решения

Первый этап характеризуется тем, что крупные потребители могут приобретать электроэнергию непосредственно у генерирующих компаний. На этом этапе состав продавцов все еще определяется правительством либо административными департаментами, регулирующими деятельность энергетической отрасли. В основном это дочерние компании крупных генераторов, имеющих монопольное преимущество (финансовые ресурсы, мощная база активов и пр.) на *розничном* рынке. Торги осуществляются в основном на основании долгосрочных контрактов, а также ежемесячных транзакций, которые в настоящее время доступны промышленным и коммерческим пользователям, которые соответствуют базовым требованиям участия в процессе прямых закупок.

На этом этапе крупные потребители все еще представляют собой ключевых игроков. Для генерирующих компаний подписание контракта гарантирует защиту их интересов в ситуациях, когда они сталкиваются с существенными сложностями, вызванными излишком генерации и низким темпом роста спроса на электроэнергию.

На **втором** этапе основное внимание будет уделено формированию конкурентного *розничного* рынка электрической энергии. Государство должно сформировать гибкие стандарты оценки различных типов продавцов с целью мотивации их к участию. Ожидается, что поставщики электроэнергии будут также предоставлять потребителям сервисы, увеличивающие потребительскую ценность для последних.

На этом этапе в задачи государства входит также формирование информированности пользователей о рынке с целью поощрения их активного участия. Необходимо четко обозначить выгоды, получаемые пользователями, а также механизмы выбора оптимальных поставщиков.

Во время **третьего** этапа рынок характеризуется экспоненциальным увеличением количества и объема энергетических транзакций, вызванных развитием «интернета энергии». Как следствие, многие энергоинтегрирующие компании сформируют собственные предложения, которые в том числе будут включать услуги по управлению спросом и прочие интегрированные сервисы.

Таким образом, можно видеть, что электроэнергетическая отрасль Китая в настоящее является подконтрольной государству и строго регулируемой. Процессы передачи и распределения энергии не были разделены и контролируются одними и теми же компаниями. Это приводит к отсутствию какой-либо конкуренции на *розничном* рынке. Потребители не имеют широкого объема прав и не могут выбирать распределительную компанию. Но при этом стоит отметить, что высокие темпы развития страны и рост спроса на электроэнергию побуждают власти инициировать процесс реформирования, который уже находит свое отражение как в дифференциации тарифов на *розничном* рынке, так и в увеличении конкуренции в различных секторах энергетической отрасли [180–182, 184].

Приложение Г

Опыт Вьетнама в реформировании розничного рынка электроэнергетики

В настоящий момент энергетическая отрасль Вьетнама находится в состоянии бурного развития. На рынке реализуется модель единственного покупателя (рис. Г. 1), которая, согласно разработанному плану реформирования (будет описан далее), постепенно трансформируется в модель конкуренции на *оптовом* рынке, а затем конкуренция будет внедрена и на *розничном* рынке.

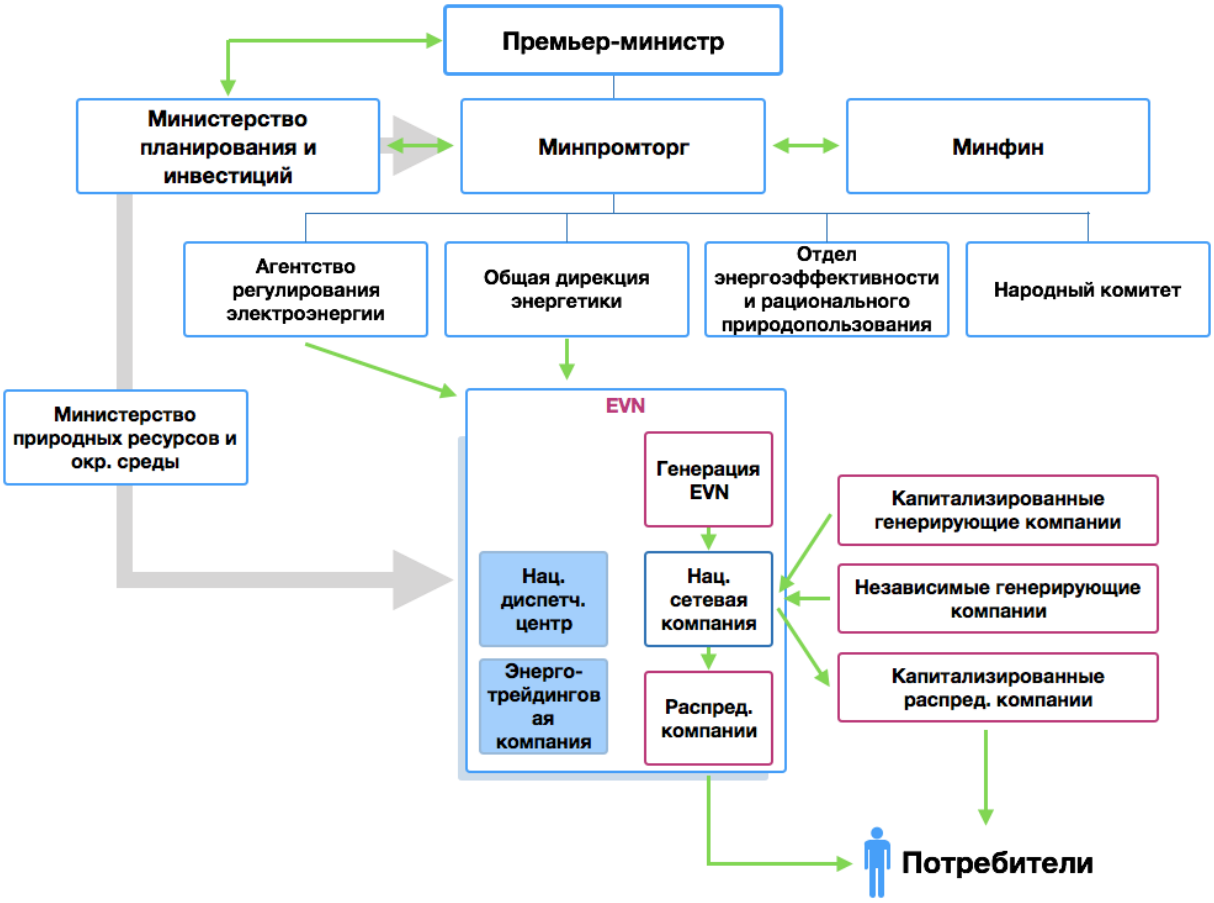

Рис. Г. 1. Схема рынка электроэнергии Вьетнама

В начале 1990 гг. во Вьетнаме государство полностью контролировало электроэнергетическую отрасль. Под управлением Министерства энергетики находились три региональные энергетические компании, каждая из которой осуществляла генерацию, передачу и распределение в рамках определенной территории. В 1995 г. произошло важное событие для отрасли (которое считается первым этапом всей реформы) – была создана объединенная монопольная компания EVN (Electricity of Viet Nam), в состав которой вошли эти три компании. Это позволило объединить процессы генерации электрической энергии и управления энергосистемой (рис. Г. 2).

Рис. Г. 2. Место EVN в электроэнергетике Вьетнама

Однако в происходящем в этот период быстром экономическом развитии государство продемонстрировало несостоятельность подобной модели функционирования электроэнергетики – так, почти половина населения не имела свободного доступа к электричеству. В результате в 1996 г. были установлены «национальные цели по электрификации». Их выполнение стало причиной финансовых и управленческих трудностей в EVN, так как она реализовывала электроэнергию по тарифам ниже себестоимости. Государство компенсировало все убытки, но к 2000 гг. ситуация стала критической. К тому же на рынок начали входить независимые производители электрической энергии. Было принято решение о начале крупной реформы энергетической отрасли, которую можно разделить на несколько последовательных этапов.

Стартом **первого** этапа считается утверждение 3 декабря 2004 г. Закона об электроэнергии (Electricity Law), который определял направления изменений для усиления конкурентоспособности страны:

– создание модели единственного покупателя, которая постепенно будет видоизменяться для внедрения механизмов конкуренции на *оптовом* и *розничном* рынках;

– изменение системы формирования тарифов с целью достижения их унификации в рамках регионов. Это должно способствовать привлечению иностранных инвестиций благодаря повышению степени стабильности в регионе;

– сокращение государственных субсидий и повышение эффективности отрасли.

Ответственность за проведение подобных изменений возлагалась на Министерство промышленности (в настоящее время – Министерство промышленности и торговли (MOIT)).

В 2006 г. премьер-министром был опубликован важный документ (Решение № 26/2006/QD-TTg), определяющий временные рамки для реализации описанных выше изменений:

– 2012 г. – полномасштабное функционирование конкурентного рынка генерации;

– 2015 г. – запуск пилотного проекта конкурентного *оптового* рынка;

– 2017 г. – его полномасштабное функционирование;

– 2021 г. – запуск пилотного проекта конкурентного *розничного* рынка;

– 2023 г. – его полномасштабное функционирование.

Для построения конкурентного рынка генерации в 2008 г. на основе реорганизации EVN была создана Национальная энергетическая корпорация (NPT), которая отвечала за управление сетевыми активами EVN. Роль единственного покупателя на рынке играет образованная в 2008 г. Электроэнергетическая торговая компания (Electricity Power Trading Company), находящаяся под управлением EVN. Для контроля над функционированием рынка создан системный оператор – National Load Dispatch Center.

В 2010 г. 11 региональных компаний, отвечающих за распределение электроэнергии, были преобразованы в 5 корпораций, которые находились под полным контролем EVN и контролировали сетевые активы на пяти территориальных зонах:

– Northern Power Corporation;

– Central Power Corporation;

– Southern Power Corporation;

– Hanoi City Power Corporation;

– Ho Chi Minh City Power Corporation.

Процесс генерации в общей цепочке обеспечения потребителей также претерпевал изменения. Принадлежащие EVN генерирующие предприятия были реструктуризированы и объединены в 3 энергетические компании. Продолжая контролироваться в целом объединенной монопольной компанией, они были ориентированы на смешанную собственность и допускали частное участие для привлечения инвестиций.

Важным шагом на данном этапе для дальнейших преобразований явилось изменение тарифной политики. Так, с 2009 г. розничные тарифы за передачу электроэнергии были увеличены. В 2010 г. тарифы на энергию на этапе генерации стали определяться конкурентным образом.

Успешность пилотного проекта привела к тому, что в 2012 г. во Вьетнаме был запущен конкурентный рынок генерации, который оказал положительное влияние на отрасль в целом:

– генерирующие компании смогли значительно сократить производственные затраты;

– генерирующие компании формировали адекватные стратегии по ценовым предложениям на рынке, которые отвечали внешним условиям;

– рынок электроэнергии стал более прозрачным и повысилась доступность электроэнергии, что положительно сказалось на конечных потребителях.

Вторым этапом считается запуск в 2016 г. пилотного проекта реализации конкурентного *оптового* рынка электроэнергии. Основной его целью было ознакомление генерирующих компаний с новыми правилами

и механизмами ведения бизнеса. Отдельное внимание уделялось формированию человеческих ресурсов, которые отвечали новым требованиям рынка и имели для этого достаточный уровень квалификации. Также разрабатывалась инфраструктура информационных технологий, которая обеспечивала бы бесперебойное функционирование рынка.

Последний пункт признается ключевым. Именно ИТ-инфраструктура станет основой функционирования рынка, поскольку процессинг получаемых данных и обработка ценовых предложений, формирование планов, взаимодействие различных агентов будет осуществлять на создаваемой платформе. Именно поэтому основными контролирующими субъектами данного процесса являются Министерство промышленности и торговли (MOIT) и EVN.

В будущем данный пилотный проект будет уже реализован в действии, и постепенно будет осуществляться переход к модели конкуренции на *оптовом* рынке [185–187].

Розничный рынок в текущей своей форме является высоко регулируемым: как со стороны государства, так и со стороны EVN. Основу его составляют пять энергетических корпораций (Northern Power Corporation, Central Power Corporation, Southern Power Corporation, Hanoi City Power Corporation и Ho Chi Minh City Power Corporation). Каждая из этих компаний владеет сетевыми активами на определенной территории и осуществляет распределение электроэнергии потребителям, которую ей передает Национальная энергетическая корпорация.

Такое регулирование приводит к тому, что потребители не имеют права выбора поставщика услуги и вынуждены пользоваться услугами только определенной компании.

Два крупных города (Хошимин и Ханой) обслуживают отдельные энергетические корпорации, остальная территория поделена регионально, и распределение на ней закреплено за определенной компанией. Весь процесс функционирования *розничного* рынка электроэнергии находится под контролем EVN.

Формирование тарифов на электроэнергию для *розничного* рынка происходит по следующей схеме – рис. Г. 3.

В 2009 г. была запущена ценовая реформа электроэнергетики, которая своей целью имела повышение прозрачности механизма формирования тарифов для конечных потребителей.

В основе розничных тарифов лежат четыре составляющих:

− генерирующая компонента (стоимость генерации);

− тариф на передачу;

− тариф, взимаемый сбытовыми компаниями;

− плата за сопутствующие услуги (ОДУ).

Наибольший удельный вес в стоимости конечной электроэнергии занимает генерирующая компонента. В связи с этим за стоимостью генера-

ции установлен жесткий контроль (Решение № 21/2009/QD-TTg). Пересмотр тарифов может происходить только по причине изменения стоимости сырья, колебаний курса валют и платы за генерирующие мощности.

Рис. Г. 3. Схема формирования тарифов на электроэнергию на розничном рынке электроэнергии Вьетнама

Увеличение размера тарифа более чем на 5 % требует одобрения премьер-министра и Минпромторга. Но в связи с продолжающейся реформой правительство объявило о том, что уровень тарифов будет постепенно расти в связи с необходимостью покрытия долгосрочных предельных издержек.

В основном затраты, которые несут генерирующие компании, покрываются долгосрочными контрактами (стандартные соглашения о закупке электроэнергии), срок действия которых составляет от 10 до 20 лет. В будущем планируется их видоизменение и включение как фиксированной части, так и переменной, которая будет варьироваться в зависимости от конкретных показателей.

Особые условия предоставляются компаниям, работающим с возобновляемыми источниками энергии. Генерация электроэнергии на ветровых установках имеет наиболее льготные условия. Гидроэлектростанции также имеют льготный тариф.

Тарифы на передачу электроэнергии устанавливаются отдельно. За их формирование отвечает Национальная энергетическая корпорация (NPT). При этом их обязательно должен одобрить Минпромторг.

Розничные тарифы на энергию утверждаются с согласия Министерства промышленности и торговли (MOIT), Министерства финансов и премьер-министра. Они устанавливаются в отдельности для 4 следующих типов потребителей:

− обрабатывающая промышленность;

− государственные предприятия;

− частный бизнес;

− домохозяйства.

Тарифы в обрабатывающей промышленности и частном бизнесе похожи тем, что имеют разделение по мощности и периодам нагрузки (стандартное время, внепиковое время, время пиковых нагрузок). При этом размер тарифов для бизнеса при аналогичных исходных параметрах выше, чем для обрабатывающей промышленности.

При определении тарифа государственные предприятия делятся на 2 категории:

1) больницы, ясли, детские сады, школы (имеет более льготный тариф на электроэнергию);

2) компании, занимающиеся уличным освещением и другие административные отделения.

Для домохозяйств также существует 2 категории тарифов:

− «Оплата услуг постфактум» (тариф имеет ступенчатое значение: первые 50 кВт стоят 1484 вьетнамских донг, следующие 50 кВт – 1533 вьетнамских донга, далее идет разбивка по 100 кВт);

− использование карт предоплаты (тариф фиксирован).

Таким образом, электроэнергетический рынок Вьетнама находится в процессе изменений и движения к полностью конкурентному. На данный момент начинает развиваться конкуренция в области генерации, что должно в итоге привести к построению модели конкуренции на *оптовом* рынке.

Существующая модель единственного покупателя ведет к полному регулированию рынка государством, а также усиления монопольного влияния компании EVN. Вследствие этого *розничный* рынок электроэнергии зарегулирован и находится под контролем пяти распределительных компаний, которые также входят в структуру активов EVN. Потребители не имеют права выбора поставщика энергии и возможности его поменять.

Тем не менее, зарождающийся курс на либерализацию отрасли уже показывает положительные результаты и в итоге должен привести к качественным улучшениям [186–188].

Приложение Д

Опыт Сингапура в реформировании розничного рынка электроэнергетики

Построение конкурентной модели функционирования электроэнергетических рынков Сингапура происходило в сжатые сроки, вызванные масштабным притоком иностранных инвестиций, требовавших соответствующей инфраструктуры.

На данный момент *оптовый* рынок является полностью конкурентным, в то время как *розничный* – лишь частично. Полную либерализацию рынка было запланировано осуществить к весне 2018 г., когда все конечные потребители смогут приобретать энергию по конкурентным ценам. Структура *розничного* рынка сложная и включает различные группы участников.

Энергетический сектор Сингапура в середине XX века представлял собой структуру, управление которой осуществлялось исключительно государственными органами. Генерацией, передачей и распределением электроэнергии занималась ВИК, принадлежащая государству.

Функции по обеспечению населения электроэнергией возлагались на созданный в 1963 г. Комитет по коммунальным услугам (Public Utilities Board (PUB)).

Вопрос о необходимости проведения реформирования отрасли стал актуальным к 1990 гг., когда власти полностью осознали необходимость формирования новых рыночных институтов и дерегулирования отрасли. Основной задачей было построение конкурентного рынка электроэнергии.

В целом процесс трансформации можно разделить на несколько этапов.

Первым этапом в можно считать начавшийся в 1995 г. процесс приватизации энергетических компаний, контролируемых PUB. Вопросами инвестиций в эти предприятия занималась крупнейшая государственная инвестиционная компания – Temasek Holdings. Регулирование электроэнергетической отраслью теперь входило в сферу ответственности PUB.

В рамках компании Temasek Holdings была создана холдинговая компания Singapore Power и генерирующая компания Tuas Power (в настоящее время – Tuas Power Generation). В состав созданной холдинговой компании входили:

– Генерирующие компании – PowerSenoko (в настоящее время – Senoko Energy) и PowerSeraya;

– Сетевая электроэнергетическая компания – PowerGrid (в настоящее время – SP PowerAssets);

– Компания, ответственная за электроснабжение населения и обеспечение их коммунальными услугами, – Power Supply (в настоящее время SP Services).

Второй этап реформы отрасли приходится на 1998 г., когда была начата деятельность Сингапурского энергетического пула (Singapore Electricity Pool), целью создания которого было формирование конкурентного *оптового* рынка электроэнергии. Данный пул функционировал как рынок на сутки вперед, где проводился конкурентный отбор ценовых заявок. Системным оператором, администратором пула и ответственным за передачу электроэнергии была назначена компания PowerGrid. Функционирование энергетического пула сделало возможным продажу компанией Power Supply электроэнергии генерирующим компаниям в конкурентных условиях и стало началом формирования *оптового* рынка с высоким уровнем конкуренции. Компании, действующие на энергетическом рынке в этот период, практически все были государственными.

Для решения вопроса о дальнейших путях проведения реформирования отрасли и необходимых изменений законодательства в сентябре 1999 г. правительство Сингапура провело всеобъемлющее исследование энергетического рынка. По результатам были объявлены ключевые инициативы по реструктуризации отрасли:

− разделение на уровне собственности электроэнергетического рынка на состязательный, конкурентный (contestable) и регулируемый;

− создание рыночного и системного операторов;

− перевод функционирования *оптового* рынка на работу в режиме реального времени;

− либерализация *розничного* рынка.

В рамках **третьего** этапа 1 апреля 2001 г. был создан новый регулирующий орган – Energy Market Authority (EMA), подконтрольный Министерству торговли и промышленности (MTI), который теперь был ответственен за вопросы регулирования энергетического рынка. Также в это время функции системного оператора от компании PowerGrid были переданы Оператору Энергосистемы (Power System Operator (PSO)), а функции оператора рынка – Energy Market Company Pte Ltd («EMC»). Последняя представляла собой дочернюю компанию EMA.

Национальный рынок электроэнергии Сингапура (NEMS) начал действовать в январе 2003 г. В этот период также начатая в 2001 г. программа по либерализации *розничного* рынка энергии вступила в активную фазу.

В 2004 г. была введена в действие система двусторонних контрактов на *оптовом* рынке, позволяющая осуществлять участникам взаимодействие более эффективным способом. Далее постепенно расширялась программа либерализации, которая сначала активно затронула реорганизацию *оптового* рынка, а потом уже и *розничного*. На последнем она продолжается до сих пор [189–191].

Существующие на данный момент правила регулирования в электроэнергетике и состав участников взаимоотношений позволяют говорить о наличии конкурентной среды. Так, на *оптовом* рынке реализована мо-

дель полной конкуренции, в которой существует ряд независимых генерирующих компаний, реализующих произведенную энергию через спотовый рынок. На *розничном* рынке представлена скорее частичная конкуренция, когда только ряд конечных потребителей имеет право выбора продавца электроэнергии (рис. Д. 1).

Рис. Д. 1. Структура оптового и розничного рынков электроэнергии Сингапура (схематично)

Закон об электроэнергетике (The Electricity Act) является основополагающим документом, который устанавливает правила функционирования национального рынка электроэнергии Сингапура. Права и обязанности участников *оптового* и *розничного* рынков представлены в Правилах электроэнергетического рынка Сингапура, лицензиях на осуществление деятельности и Кодексах практики, которые были выпущены EMA.

Основными целями существования Правил электроэнергетического рынка Сингапура являются:

– создание и поддержание конкурентного *оптового* рынка для эффективной продажи и покупки электроэнергии;

– предоставление участникам рынка недискриминационного доступа к системе;

– развитие конкуренции в сфере производства электроэнергии.

Для осуществления таких видов деятельности, как генерация электроэнергии, ее передача и распределение, продажа конечным потребителям, необходима лицензия, которая устанавливает основные права участника рынка и определяет срок доступа на рынок.

Оптовый и *розничный* рынки электроэнергии достаточно тесно связаны между собой, а потому будут рассматриваться совместно.

Основными участниками сингапурского *оптового* рынка выступают независимые генерирующие компании – в настоящее время на рынке функционирует 15 компаний (YTL PowerSeraya Pte Ltd, SembCorp Cogen Pte Ltd, Keppel Merlimau Cogen Pte Ltd, Tuas Power Generation Pte Ltd, Shell Eastern Petroleum Pte Ltd, Senoko Energy Pte Ltd и пр.). Каждая из этих компаний имеет лицензию, позволяющую ей производить электроэнергию и продавать ее на рынке.

Важным агентом в данной части энергетического сектора выступает системный оператор, который координирует действия всех институтов и участников.

Сам *оптовый* рынок электроэнергии состоит из двух частей:

− спотовый рынок электроэнергии и резервов;

− рынок вспомогательных услуг.

Стоимость электроэнергии на *оптовом* рынке определяется согласно поданным в реальном времени предложениям цены и мощности генерирующими компаниями, среди которых отбираются наиболее конкурентоспособные. Каждые полчаса специальный рыночный клиринговый инструмент (Market Clearing Engine) определяет количество электроэнергии, которое будет отправлено на рынок, оптовые цены на нее и необходимые резервные мощности. Своевременность отгрузки и ее соответствие составленному расписанию контролируется системным оператором энергосистемы Сингапура.

Передачу электроэнергии осуществляет SP PowerAssets. Ее деятельность и стандарты производительности контролируются EMA.

На *оптовом* рынке действует два вида контрактов:

− *Vesting Contracts* (некоторый объем произведенной электроэнергии подлежит хеджированию по определенной цене). Такие контракты являются двусторонними между генерирующими компаниями и SP Services. Vesting Contracts призваны нейтрализовать возможные действия генерирующих компаний по искусственному занижению предложения с целью искусственного повышения рыночных цен;

− *двусторонние контракты, компенсирующие потери*. Так, компании заранее устанавливают цену, по которой согласны провести сделку, и одна из сторон восполняет разницу между конкурентной ценой, определенной спотовым рынком и данной, договорной. Это позволяет снизить волатильность рыночной деятельности.

Таким образом, можно видеть, что *оптовый* рынок электроэнергии Сингапура является полностью конкурентным. На нем присутствует несколько генерирующих компаний, которые благодаря организации спотового рынка конкурируют друг с другом. Отпускная цена на электроэнергию определяется конкурентным путем благодаря выбору из пула предложений тех, которые в наибольшей степени соответствуют сложившимся на текущий момент спросу и предложению.

На *розничном* рынке электроэнергии Сингапура установилась частичная конкуренция, при которой не все конечные потребители имеют право выбора поставщика электроэнергии. Власти понимают эту проблему и предпринимают меры для ее разрешения: так, к 2018 г. планируется полностью либерализовать весь рынок – вплоть до предоставления домохозяйствам возможности выбора поставщика.

Основным регулирующим органом выступает Energy Market Authority, которая выдает участникам лицензии на право осуществления деятельности и контролирует соблюдение установленных правил функционирования. Закон об электроэнергетике (The Electricity Act) является основополагающим документом (как и на *оптовом* рынке).

На *розничном* рынке присутствует два типа продавцов электроэнергии:

– *продавцы электроэнергии, которые являются участниками рынка*. Для осуществления своей деятельности они должны быть зарегистрированы у регулятора (Energy Market Company). Они также обладают правом приобретать электроэнергию напрямую на национальном электроэнергетическом рынке Сингапура (NEMS). Они осуществляют реализацию электроэнергии только допущенным (contestable) потребителям;

– *продавцы электроэнергии, которые не являются участниками рынка*. Они освобождены от регистрации у регулятора, но могут приобретать электроэнергию на Национальном рынке электроэнергии Сингапура (NEMS) лишь опосредованно – через MSSL. Они также осуществляют реализацию электроэнергию только допущенным (contestable) потребителям.

На данный момент на рынке функционирует 26 компаний, имеющих лицензию для осуществления деятельности на *розничном* рынке в качестве продавцов энергии. Среди них: Keppel Electric Pte Ltd; SembCorp Power Pte Ltd; Tuas Power Supply Pte Ltd; Senoko Energy Supply Pte Ltd; Seraya Energy Pte Ltd; Hyflux Energy Pte Ltd; Sun Electric Power Pte Ltd; Sunseap Energy Pte Ltd и пр.

Как видно из приведенной выше информации, потребители *розничного* рынка разделяются на 2 категории:

– допущенные (contestable) – имеют право выбора поставщика электроэнергии:

- через лицензированную розничную сбытовую компанию;

▪ напрямую на *оптовом* рынке (для этого необходима регистрация EMA);

▪ опосредованно на *оптовом* рынке (через SP Services);

− недопущенные (non-contestable) – лишены подобного права.

Критериями признания потребителя «допущенным» являются: «*предприятия, которые имеют среднемесячное потребление не менее 2000 кВт·ч (или ежемесячный счет на электроэнергию, составляющий не менее 400 долл.) могут отказаться от стандартной схемы распределения энергии и получить право выбора продавца*».

Допущенным потребителям также доступно большее количество ценовых контрактов на поставку электроэнергии:

− контракты с фиксированной ценой;

− контракты, цена которых индексируется в зависимости от цены топлива;

− контракты, цена которых зависит от пиковой нагрузки периода, в которой осуществляется сделка;

− привязанные к тарифу контракты.

EMA не контролирует выбор типа контракта данной категорией потребителей.

Недопущенные потребители приобретают электроэнергию по регулируемому тарифу. Он устанавливается SP Services и подлежит пересмотру ежеквартально. EMA ответственна за его регулирование – с учетом фактической стоимости электроэнергии.

Данный тариф зависит от двух компонентов – стоимости топлива и нетопливных затрат. Для расчета стоимости топлива используются среднее значение ежедневных цен на природный газ в первые 2,5 месяца предыдущего квартала. Такая схема позволяет нивелировать колебания цен на нефтяных рынках.

Нетопливные затраты состоят из четырех частей (приведены в порядке убывания их удельного веса к розничной цене на электроэнергию):

1. *Генерирующая компонента*. К ним относят расходы, связанные с эксплуатацией электростанций – затраты на рабочую силу, техническое обслуживание, капитальные затраты.

2. *Сетевой тариф*. Включает расходы, понесенные в процессе передачи электроэнергии через сети.

3. *Плата за оказание вспомогательных услуг для корректного функционирования рынка*. Возмещает затраты на выставление счетов, контроль над показаниями счетчиков.

4. *Плата за эксплуатацию энергосистемы и регулирование рынка*. Возмещает затраты, понесенные в связи с использованием различных частей энергосистемы и осуществлением контроля над функционированием рынка.

Таким образом, очевидно, что электроэнергетический рынок Сингапура является в должной мере конкурентным. На *оптовом* рынке реализована модель полной конкуренции, что позволяет формировать конкурентоспособную цену на электрическую энергию, являющуюся отражением текущих значений спроса и предложения. На *розничном* рынке вскоре также будет реализована подобная модель.

Но даже уже в текущих условиях крупные предприятия имеют право выбора поставщика электроэнергии, что делает ведение бизнеса более гибким и способствует развитию экономики. Растущее потребление электроэнергии и открытость властей к изменениям и более эффективным решениям позволяют говорить о том, что в данном случае модель розничной конкуренции не только может быть реализована в полной мере, но и сделано это будет в кратчайшие сроки [189–193].

Приложение Е

Опыт Германии в реформировании розничного рынка электроэнергетики

Как член Европейского Союза, Германия начала реформирование электроэнергетической отрасли в конце 1990-х гг. Ход преобразований отличался от такового в других странах. За счет некоторых особенностей данное государство провело процесс либерализации в более короткие сроки, внедряя конкурентные условия сразу в различные сегменты рынка.

Правительство Германии относит электроэнергетическую отрасль к категории естественных монополий, поэтому допускает существование крупных компаний, владеющих как генерирующими активами, так и сетевыми. Но при этом на рынке функционирует ряд системных операторов, чья основная роль состоит в недопущении использования кем-то из агентов монопольного положения и дискриминации других игроков. Такая структура позволяет сохранять баланс в системе.

Рынок электроэнергетики Германии до начала реформирования не был похож по структуре на большинство других европейских стран в вопросе преобладающей формы собственности – государственная монополия на основные виды деятельности отсутствовала как таковая. На рынке функционировали компании с различным участием – частным, государственным и смешанным; преобладали вертикально интегрированные структуры.

Характерной чертой устройства в 1990-х гг. можно считать наличие территориальной монополии энергоснабжающих организаций. За каждой из компаний была закреплена определенная территория, которую она обслуживала и за пределы которой не выходила. При этом между энергоснабжающими компаниями и коммунальными предприятиями была установлена система связей, позволяющая минимизировать возможные сбои в процессе поставки электроэнергии конечным потребителям.

Катализатором процесса либерализации немецкого электроэнергетического рынка стала Директива Европейского Союза от 1996 г., которая устанавливала общие правила функционирования внутреннего энергетического рынка для его стран-членов. Ее некой трансформацией, учитывающей региональные особенности Германии, стал Национальный закон в области энергетики (The National Energy Act) 1998 г. Данный нормативный акт создал необходимую правовую базу для проведения изменений.

Начало реформирования усилило тенденцию консолидации энергетического рынка Германии. В 1997 г. произошло слияние компаний «Badenwerk» and «Energieversorgung Schwaben» (EVS) с последующим образованием новой энергоснабжающей компании – «Energie Baden-Würtemberg AG» (EnBW). За этим последовал еще целый ряд крупных сделок слияний и поглощений.

Еще одной отличительной чертой реформирования немецкого энергетического рынка явилось то, что процесс либерализации был проведен не поэтапно, а был направлен сразу на все этапы: от генерации электроэнергии до сбыта ее потребителям. Это позволило провести реформу в достаточно короткие сроки. Сложившиеся до этого на рынке территориальные монополии были упразднены.

Приняв Национальный закон в области энергетики от 1998 г., Германия тем самым на своей территории установила политику «согласованного доступа третьих лиц», которая реализовывалась в соглашениях между компаниями – в отличие от преобладающей в остальной Европе системы регулированного доступа третьих лиц к энергосистеме и существования ответственного за это регулирующего агентства. Однако к началу 2000-х гг. такая система показала свою нежизнеспособность, и в 2005 г. был принят очередной Национальный закон в области энергетики, который установил регулируемый доступ на энергетический рынок и ответственное агентство – «Bundesnetzagentur». Это сделало немецкий рынок ближе к общеевропейскому устройству.

Основными нормативными документами, определяющими правила функционирования энергетических рынков Германии, являются Закон об энергетическом хозяйстве (Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)) и Закон о возобновляемых источниках энергии (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)).

Закон об энергетическом хозяйстве от 2005 г. установил, что операторы сетей не могут участвовать в процессе генерации электроэнергии или осуществлять ее конечную продажу – то есть должно быть юридическое разделение управляющих структур.

Но в 2011 г. произошел пересмотр данного закона, который ужесточит правила для операторов системы передачи электроэнергии. В процессе децентрализации было выделено 2 модели его функционирования:

− независимый системный оператор;

− независимый оператор передачи.

Существование операторов на рынке и введение различных политик имели своей целью снижение власти вертикально интегрированных компаний и предотвращение возможной дискриминации других участников с их стороны при доступе к сетевым активам и/или инвестициям в электроэнергетику.

Регулирование рынков осуществляют:

− на *правительственном* уровне: Федеральное министерство экономического сотрудничества и энергетики (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – BMWi) и Федеральное министерство по делам охраны окружающей среды, охраны природы, строительства и ядерной безопасности (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB). В области ответственности данных регуляторов находится вопрос формирования энергетической политики;

– на федеральном уровне действия обеих структур находятся под контролем BMWi:

▪ *Федеральное сетевое агентство* (Bundesnetzagentur – BNetzA) ответственно за развитие рынков. Оно занимается вопросами регулирования конкуренции. Это достигается за счет обеспечения недискриминационного доступа к сетям и контроля за коэффициентом использования сетевых активов. Эти вопросы на операционном уровне также курируются системным оператором. Сетевое агентство также осуществляет надзор за реализацией антиконкурентных практик;

▪ *Федеральное бюро по картелям* (Bundeskartellamt – BKartA) контролирует рыночную конкуренцию, не допуская злоупотреблений на рынке со стороны доминирующих компаний, а также проводя оценки сделок по слиянию и поглощению. Данная организация проверяет цены на энергоносители, которые устанавливают поставщики, и следит за адекватной тарифной политикой для потребителей, которая находится в зоне ответственности региональной власти.

Несмотря на то, что законодательно установлен свободный вход на рынок, на нем доминируют четыре крупные компании, которые владеют основной частью генерирующих, распределительных и сбытовых активов: E.ON; EnBW; RWE; и Vattenfall Europe.

Генерацию осуществляют также независимые производители электроэнергии – однако основная часть выработки (70 %) приходится на указанные выше компании. Принимая во внимание недавний тренд энергетической политики в развитии ВИЭ, в ближайшее время ожидается изменение структуры генерации и удельных весов ключевых участников [194–197].

Торговля электроэнергией на *оптовом* рынке осуществляется через энергетические биржи: EPEX Spot (Париж) и EEX (Лейпциг).

Сетевая структура (передача) представлена четырьмя операторами: Amprion; Transnet BW (ENBW); TenneT; и 50Hertz Transmission. Одновременно EnBW также владеет частью сетевых активов. Каждый из операторов отвечает за определенную зону, которая покрывает часть страны, создавая тем самым, по сути, несколько автономных зон (рис. Е. 1).

Все операторы координирую свою деятельность с целью повышения ее эффективности и предотвращения вариации качества услуг.

Распределительная система в Германии является одной из самых сложных в Европе. Она представлена 900 операторами, которые обслуживают 20 тыс. муниципалитетов. Большая часть распределительных активов принадлежит четырем крупным компаниям, упомянутым ранее: E.ON, EnBW, RWE и Vattenfall Europe. Управление сетями происходит через заключение концессионных контрактов с муниципалитетами. Помимо основных компаний распределительный сектор представлен также муниципальными службами и рядом региональных компаний.

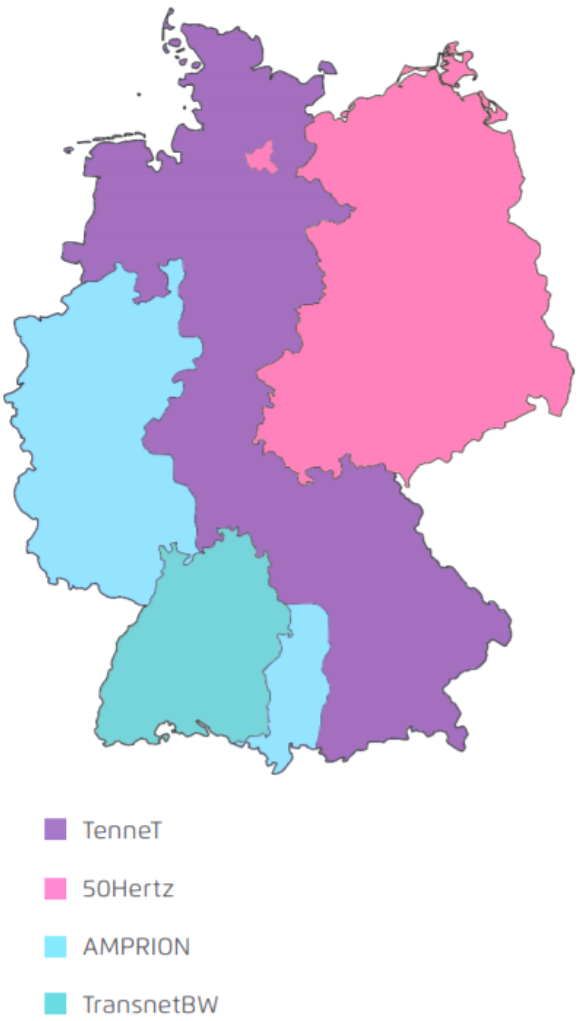

Рис. Е. 1. Территориальное распределение зон ответственности операторов сетевой структуры электроэнергетического рынка Германии

Сбыт электрической энергии осуществляется посредством поставщиков (будут подробнее рассмотрены далее – при описании *розничного* рынка электрической энергии Германии).

Конкуренция на немецком *розничном* рынке электроэнергии была введена еще в 1998 г. С этого момента потребители получили право выбора поставщика. Однако процент потребителей, воспользовавшихся такой возможностью, вначале был очень мал. Это было связано с отсутствием налаженной на тот момент системы перехода и необходимых форм контрактов. Постепенно ситуация улучшалась и степень конкуренции среди поставщиков выросла. Так, к 2012 г. около 20 % домохозяйств имели контракты с конкурентными поставщиками, а не с теми, кто по умолчанию оказывает услуги на данной территории.

В настоящее время поставку электрической энергии конечным потребителям осуществляют 3 категории компаний:

− крупные компании (E.ON; EnBW; RWE и Vattenfall Europe);

− муниципальные компании;

− независимые поставщики электроэнергии.

Несмотря на то, что на *розничном* рынке Германии присутствуют крупные игроки, которые также владеют активами в других частях общего процесса по обеспечению потребителей электроэнергией, данный рынок считается низко концентрированным (в 2013 г. индекс Херфиндаля – Хиршмана был ниже 1000). Подобное достигается за счет большого количества муниципальных служб [195, 196].

Схематично структуру рынка электроэнергии можно представить в следующем виде (табл. Е. 1).

Таблица Е. 1

Структура рынка электроэнергии Германии

Сегмент	Ключевые компании	Рыночная доля	Общее количество провайдеров
Генерация	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	56 % установленной мощности (на июнь 2014 г.) 59 % общего объема генерации (на 2012 г.)	В общем более 1 тыс. генераторов (не включая индивидуальных производителей)
Передача	Ampirion; Transnet BW (ENBW); TenneT; 50 Hertz Transmission	В общем – 100 %	4
Распределение	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	4 крупные компании владеют и управляют существенной частью распределительной системы (точных данных о рыночной доле нет)	Около 890 операторов распределительной системы (около 700 из них находятся в муниципальной собственности Stadwerke)
Сбыт	EnBW; E.ON; RWE; Vattenfall	Около 45,5 % общего объема выбранной электроэнергии	Более 900 сбытовых компаний

В части тарифной политики необходимо отметить, что данное государство отличается одними из самых высоких цен на электроэнергию для конечных потребителей при ее низкой стоимости на *оптовом* рынке. К тому же в последние годы был зафиксирован некоторый рост цен на электроэнергию как для предприятий, так и для домохозяйств по причине: увеличения сборов, связанных с политикой использования ВИЭ; увеличения затрат на закупку электроэнергии; увеличения соответствующих налогов.

Особенностью тарифной политики Германии является то, что конечные цены для домохозяйств сильно различаются с теми, что устанавливаются для промышленных предприятий. При этом и для разных категорий предприятий существуют различные льготы. Так, крупные промышленные организации могут быть вообще освобождены от налогов и сборов.

В целом можно говорить о довольно гибкой структуре *розничного* рынка Германии. Он полностью либерализован. На нем имеется достаточное количество игроков для обеспечения конкурентных условий. Также конечные потребители любой группы имеют право выбора поставщика электроэнергии [195, 196].

Приложение Ж

Опыт Великобритании в реформировании розничного рынка электроэнергетики

Особенностью *розничного* рынка электроэнергии Великобритании является тот факт, что он обычно рассматривается в совокупности с газовым. Так, обычно эти 2 продукта поставляются одной сбытовой компанией по тарифу «двойного топлива» («dual fuel»). Регуляторный режим также обычно одинаков для этих 2 сегментов.

На рынке функционирует 6 крупных энергокомпаний: Centrica plc (Centrica); EDF Energy plc (EDF Energy); E.ON UK plc (E.ON); RWE npower plc (RWE); Scottish and Southern Energy plc (SSE); и Scottish Power. Они являются фактическими монополистами на рынке газа (Centrica) и электроэнергии (EDF Energy, E.ON, RWE, SSE и Scottish Power) – так, на них приходится более 90 % объема поставок электроэнергии и более 70 % объема ее генерации на территории Великобритании. В целом они являются вертикально интегрированными (в части генерации и сбыта), а SSE и Scottish Power также имеют долю в сфере распределения.

Что касается сбыта, то в настоящее время на рынке функционирует 34 поставщика. Наиболее крупными их них являются: Utility Warehouse, First Utility и Ovo Energy (которых часто называют «поставщиками средней руки»).

В конце 1990 гг. внутренний энергетический рынок Великобритании был либерализирован. В 2002 г. Ofgem (регулятор энергетического рынка) устранил ценовой «потолок» переходного периода (будет описан ниже) и рынок стал полноценно конкурентным.

Тем не менее, в 2008 г. по причине ряда ценовых повышений Ofgem выразил опасение по поводу конкуренции и «нечестной разницы цен». Это привело к ряду регуляторных интервенций с его стороны. В июне 2016 г. антимонопольная служба подтвердила наличие проблем в области конкуренции и оценила связанные с этим потребительские потери в 2 млрд фунтов стерлингов (только за 2015 г.). Оказалось, что более ранние виды вмешательства по факту негативно сказались на уровне конкуренции, а посему было предложено внедрить другие механизмы интервенции – включая установление «потолка» цен на тарифы предоплаты.

В настоящее время существует 2 противоположные точки зрения на текущее состояние *розничного* рынка электроэнергии Великобритании:

– Ofgem и антимонопольный комитет считают, что слабая реакция потребителей привела к усилению власти основных поставщиков;

– прочие регуляторы отрасли считают, что увеличение розничных цен на электроэнергию отражает рост издержек производителей и не является индикатором роста власти сбытовых компаний.

Историю развития *розничного* рынка электроэнергии Великобритании можно представить в виде движения от ценового регулирования к конкуренции (рис. Ж. 1).

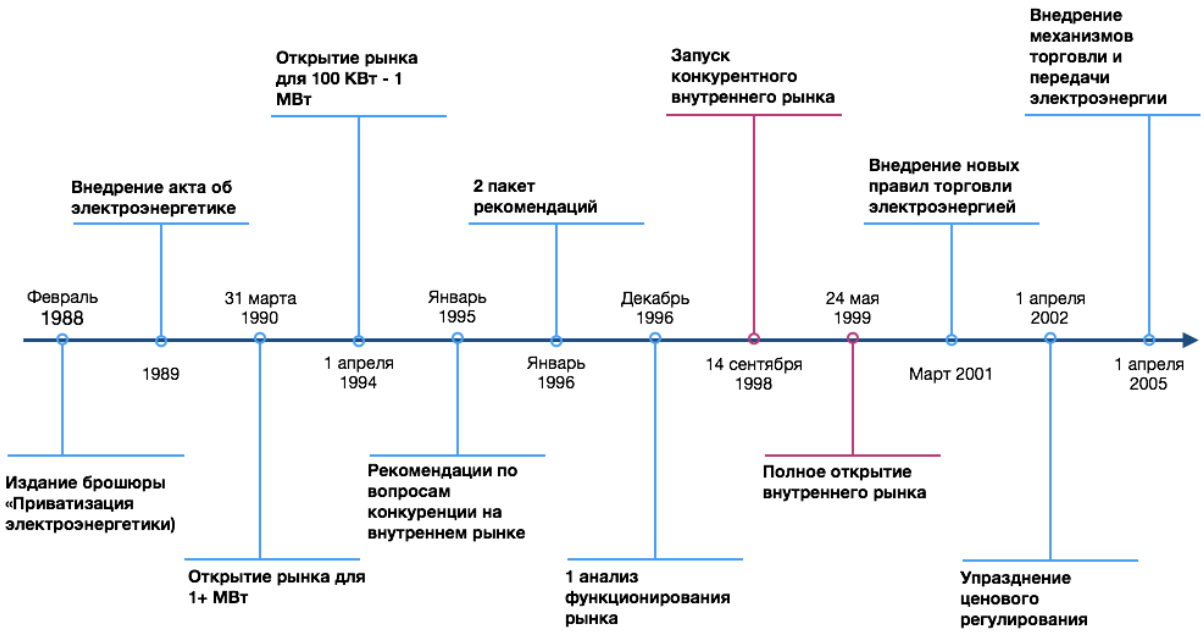

Рис. Ж. 1. Хронология развития розничного рынка электроэнергии Великобритании (схематично)

Процесс либерализации проходил в виде последовательных этапов внедрения изменений, которые вначале затрагивали крупнейших коммерческих (индустриальных) потребителей. Идеологией изменений был тезис о том, что розничная конкуренция будет более эффективной по сравнению с регулируемой монополией и позволит конечным потребителям пользоваться выгодами, которые первая предоставляет.

Первым этапом данного процесса стало издание в феврале 1988 г. брошюры под названием «Приватизация электроэнергетики». В этот же период (в марте 1990 г.) был внедрен регулятор электроэнергетического рынка и создан пул торговли электроэнергией. Одновременно были приватизированы региональные энергетические компании. И к марту 1991 г. 60 % национальной энергосистемы функционировало на рыночных принципах. Оставшаяся часть была переведена на конкурентную основу уже к марту 1995 г.

Далее в 1990–1994 гг. был введен «потолок» цен на сбыт электроэнергии. Данная норма регулировала максимальный уровень цен всех региональных энергокомпаний (вне зависимости от зоны их сбыта).

Второе подобное ограничение было введено на период с апреля 1994 по март 1998 гг. Оно распространялось только на тех потребителей, которые попадали под действие франшизы (чья мощность не превышала 100 КВт).

Далее с апреля 1998 по март 2000 гг. с целью реализации перехода к конкурентному рынку были установлены ценовые ограничения. Они применялись по отношению к электроэнергии, которая потреблялась домохозяйствами и мелкими предприятиями.

В 1999 г. отдельные регуляторы электроэнергетической отрасли были объединены в Ofgem (в его компетенции находились вопросы регулирования газовой и электрической отраслей). Одновременно деятельность по распределению и сбыту была интегрирована и управлялась посредством единой лицензии. Так продолжалось до 2000 г., после чего данные виды деятельности все же были разделены (тем не менее, в Шотландии ряд компаний до сих пор являются вертикально интегрированными).

Подобные действия также привели к тому, что фокус регулирования сместился с обеспечения функционирования процесса дерегулирования рынка к защите интересов конечных потребителей (в том числе за счет стимулирования конкуренции в тех случаях, когда это было возможно). Одновременно был создан независимый потребительский орган – «Energywatch» (представлял собой аналог сообщества потребителей).

К 2002 г. 14 крупнейших сбытовых компаний были объединены в 5 вертикально интегрированных поставщиков энергии. Уровень концентрации был очень высоким – так, одна из компаний (Centrica) занимала 22 % в объеме поставок электроэнергии потребителям в Великобритании. На рынке были прочие игроки, но их доля не превышала 1 %.

В 2002 г. Ofgem отменила ценовые «потолки», поскольку пришел к мнению, что цена должна устанавливаться посредством рыночных механизмов. Одновременно было объявлено, что будут устранены препятствия для полноценного развития конкуренции (включая улучшение информированности потребителей и стандартов оплаты).

Второй этап охватывает период с 2002 г. и включает процесс внедрения недискриминационных условий.

Таким образом, за указанный период электроэнергетический рынок Великобритании претерпел существенные изменения:

– в части генерации был создан ряд независимых компаний (к примеру, Powergen, National Power и Nuclear Electirc);

– в передаче национальная сетевая компания была приватизирована;

– в распределении было создано 12 региональных зон, в каждой из которых теперь функционировала частная компания;

– в сбыте были созданы 12 соответствующих сбытовых компаний (рис. Ж. 2).

Пул генерации позволил создать прямую конкуренцию между генерирующими компаниями и соответствующее формирование цены на электроэнергию. Генерирующие компании продавали электрическую энергию поставщикам и прочим потребителям на *оптовом* рынке по цене, устанавливаемой в начале каждого дня. Однако данный механизм не считается эффективным, поскольку он не учитывает спрос – по факту цена устанавливается двумя ключевыми генерирующими компаниями. В 2001 г. был введен новый механизм установления цены – двусторонние контракты, предоставляющие генераторам и потребителям торговать напрямую.

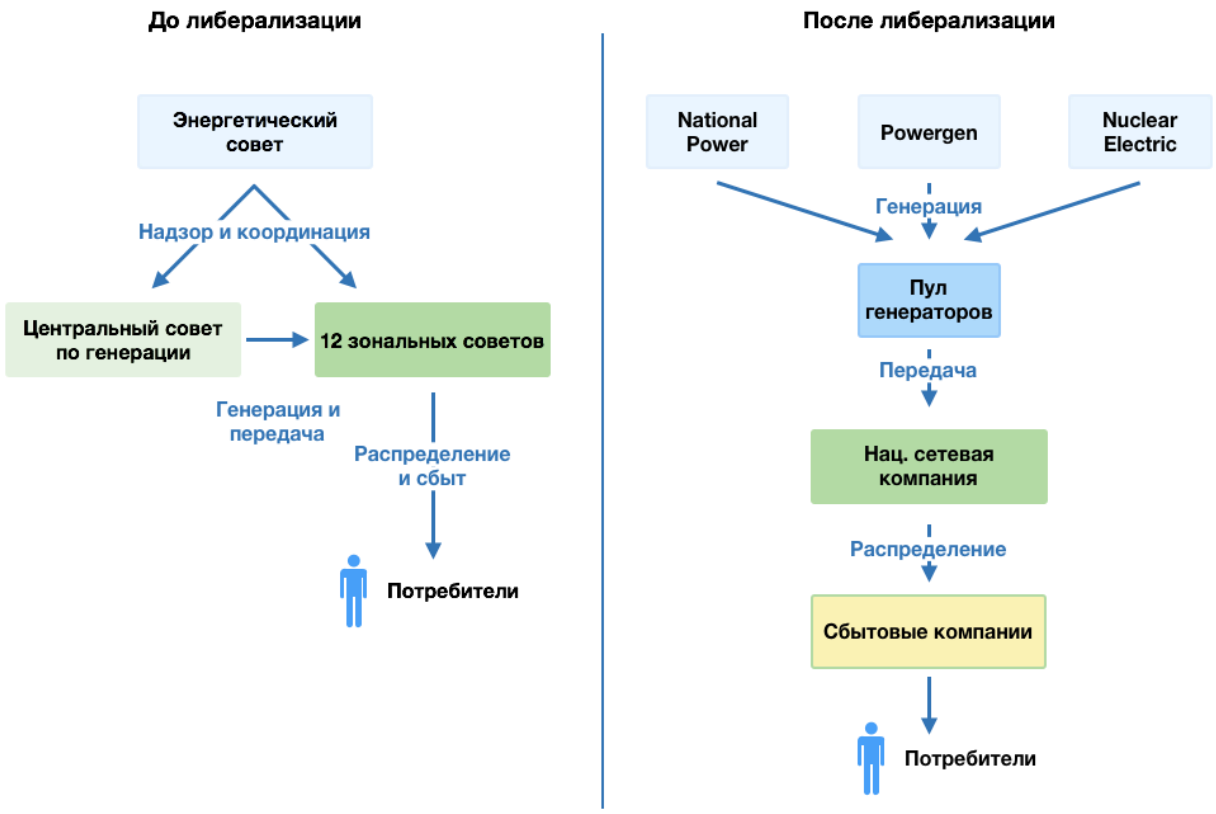

Рис. Ж. 2. Схема розничного рынка электроэнергии Великобритании до и после либерализации (сравнительный анализ)

21 февраля 2008 г. Ofgem запустила программу под названием «Исследование рынков энергоснабжения» («Probe into energy supply markets»). Целью было выявление обоснованности распространенного на тот момент мнения о том, что конкуренция находится под влиянием определенных игроков. Результаты исследования не подтвердили эту гипотезу – напротив, было выявлено, что в тот период количество активных потребителей (измеряется в количестве переключений между поставщиками электроэнергии) является наиболее высоким в мире.

Более того, около 20–30 % потребителей *розничного* рынка являются клиентами конкретного поставщика на протяжении более чем 10 лет.

В данной связи был выпущен пакет, состоящий из 20 мер, который был нацелен на активизацию перехода к конкурентному рынку:

– предоставление полноценной информации по выставляемым потребителям счетам;

– ежегодное обращение к потребителям;

– ежегодное предложение о переключении;

– программа повышения уверенности в сопоставимости цен;

– упрощенная ценовая метрика и правила продажи и пр.

В настоящий момент продолжается политика, направленная на повышение активизации потребителей [198–201].

Приложение И

Перечень проектов, реализуемых в рамках EnergyNet

Архитектура интернета энергии (свободный обмен электрической энергией между экономическими агентами).

Энергозапас (система хранения электрической энергии).

Цифровой РЭС – Янтарьэнерго.

Комплексная платформа энергоснабжения «Топаз».

Разработка глобальной универсальной комплексной системы эффективного управления энергоресурсами.

Разработка МЭМС-преобразователя электрического тока интеллектуальных систем диагностики электросетевого оборудования.

Многофункциональный эталонный комплекс для поверки и калибровки измерительных каналов на цифровых подстанциях на местах эксплуатации.

Разработка платформы IoT для мониторинга и управления техническим состоянием энергетического оборудования по фактическому состоянию.

Разработка прибора для дистанционной диагностики электросетевого оборудования «КОРОНА-М».

Исследование возможности использования кремниевых пластин, полученных по технологии Бриджмена для высокоэффективных гетероструктурных солнечных элементов.

Интеллектуальные системы учета электрической энергии – внедрение в производство.

Разработка комплекса средств дистанционной диагностики электросетевого оборудования с применением IoT технологий (e-Energy).

Разработка системы учета электроэнергии и микроплатежей на основе технологии распределенных реестров.

Разработка многопараметрической адаптивной погодозависимой интеллектуальной системы управления инженерной инфраструктурой зданий и сооружений, направленной на снижение расхода энергии (тепла) на централизованное отопление.

Разработка высокоэффективных тандемных солнечных элементов на основе кристаллического кремния и полупроводниковых материалов перовскитного типа.

Система диагностики и защиты оборудования от развивающихся повреждений в электроустановках корпусной конструкции.

Разработка микросетей на основе гибридных газогенераторных электроустановок.

Разработка базовых технологий, конструкций на основе активных электродов мезопористых ультратонких волокон и проводящих углеродных покрытий для накопителя энергии конденсаторного типа (НЭКТ).

Разработка открытой платформы управления инфраструктурой жилых зданий в реальном времени на основе технологий Интернета вещей.

Разработка программно-аппаратного комплекса управления аккумуляторными батареями.

Разработка низкоконцентрированной солнечной энергетической установки с утилизацией тепла, выделяемого кристаллическими двухсторонними солнечными модулями, работающей в условиях повышенных температур окружающей среды.

Создание информационно-аналитической платформы для моделирования и инвестиционной оценки интеллектуальных энергосистем.

Система оптимального управления производственными активами энергетических предприятий с учетом рисков выхода из строя в режиме реального времени.

Разработка цифровой мультиагентной системы управления интеллектуальной распределительной электрической сетью на базе информационно-управляющей платформы КОТМИ-14 и комплекса расчетно-аналитических программ RersPC.

Разработка и создание ветроэнергетического агрегата с вертикальной осью, модификации, обеспечивающей эффективное функционирование в распределенной сети типа Smart Grid.

НИОКР по созданию информационно-управляющей системы для локально районированных энергосистем (Microgrid).

Разработка экспериментального образца аппаратно-программного комплекса мониторинга энергосетей и интеллектуального управления инженерной инфраструктурой в режиме реального времени.

Разработка киберфизической системы интеллектуального мониторинга энергоснабжения «умного города» на основе технологии беспроводных сенсорных сетей.

Разработка станции заряда электромобилей вида 2 и 3 по стандарту ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013 с интеграцией в зарядную инфраструктуру по технологии V2G (Vehicle-to-grid).

Разработка мультиагентного устройства режимной и противоаварийной автоматики энергосистем с распределенной малой генерацией.

Разработка опытного образца программно-технического комплекса модельно-упреждающего управления энергопотреблением на основе концепции распределенной энергосберегающей станции.

Разработка энергороутера для энергосистем будущего.

Интеллектуальная система для оперативного контроля рисков выхода из строя в процессе работы высоковольтного маслонаполненного трансформатора путем измерения эксплуатационных характеристик и анализа качества трансформаторного масла в режиме реального времени.

Разработка автоматизированной системы управления энергоснабжением промышленной площадки (нефтяной район) на базе динамической информационной модели энергосистемы.

Разработка многопараметрической системы прогнозирования потребления и автоматического управления объектами генерации и хранения электроэнергии в режиме реального времени.

Разработка системы оценки качества электрической энергии в электрических сетях.

Интеллектуальная система электроснабжения на базе персональных энергоблоков.

Разработка программно-технического комплекса мониторинга инфраструктуры энергетических систем на основе технологий Интернета вещей.

Индустриальный микрогрид.

Создание автономной гибридной системы электроснабжения на основе ВИЭ.

Цифровая подстанция.

Платформа.

Системы прогнозирования спроса, цены и анализ затрат на предприятиях путем использования технологий больших данных.

BM Power (Энергосистема на водородных топливных элементах для дронов и роботов) [261].

Научное издание

Волкова Ирина Олеговна
Бурда Егор Дмитриевич
Гаврикова Елизавета Владимировна
Суслов Константин Витальевич
Косыгина Анна Владимировна
Горгишели Мария Васильевна

Трансформация электроэнергетики: тренды, модели, механизмы и практики управления

Монография

Редактор Д.С. Лебедева
Предпечатная подготовка А.А. Ильюшенко

Подписано в печать 30.10.2020. Формат 60x90/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 23,25.
Тираж 500 экз. Зак. 193/202/203. Поз. плана 1н.

Отпечатано в типографии издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83