

Полные затраты на производство электроэнергии



Полные затраты на производство электроэнергии

© ОЭСР 2018
АЯЭ № 7298

АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ
ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА И РАЗВИТИЯ

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА И РАЗВИТИЯ

ОЭСР является уникальным форумом, на котором правительства 35 демократических стран совместными усилиями решают экономические, социальные и экологические проблемы глобализации. ОЭСР также занимает важнейшее место в деятельности, направленной на оказание поддержки и помощи правительствам стран в понимании и решении новых проблем и тенденций развития, таких как корпоративное управление, информационная экономика, и вопросов, связанных со старением населения. Организация предоставляет правительствам стран возможности сравнения политического опыта, поиска путей решения общих проблем, определения рекомендуемых норм и проведения работы по координации внутренней и внешней политики.

Странами-членами ОЭСР являются: Австралия, Австрия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Израиль, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Канада, Корея, Латвия, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Словакия, Словения, Соединенные Штаты Америки, Турция, Финляндия, Франция, Чехия, Чили, Швеция, Швейцария, Эстония и Япония. Европейская комиссия также принимает участие в работе ОЭСР.

Издательство ОЭСР широко распространяет собственные результаты сбора статистических данных, экономические, социальные и экологические исследования, а также конвенции, руководства и стандарты, согласованные её членами.

*Данная работа публикуется под ответственность Генерального секретаря ОЭСР.
Мнения и аргументы, приведённые в настоящем документе, не обязательно отражают
официальную позицию Организации или правительств стран-членов.*

АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) при ОЭСР было учреждено 1 февраля 1958 года. На сегодняшний день членами АЯЭ являются 33 страны: Австралия, Австрия, Аргентина, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Канада, Корея, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Россия, Румыния, Словакия, Словения, Соединенные Штаты Америки, Турция, Финляндия, Франция, Чехия, Швеция, Швейцария и Япония. Европейская комиссия и Международное агентство по атомной энергии также принимает участие в работе Агентства.

Миссия АЯЭ:

- путём международного сотрудничества содействовать странам-членам в поддержании и дальнейшем развитии научных, технологических и правовых основ, необходимых для безопасного, экологичного и экономичного использования ядерной энергии в мирных целях;
- выработка общего понимания по ключевым аспектам развития атомной энергетики и предоставление правительствам стран-членов авторитетных оценок для принятия решений, а также расширение анализа ОЭСР в таких областях как энергетика и устойчивое развитие низкоуглеродной экономики.

Особыми сферами компетенции АЯЭ являются ядерная безопасность и регулирование, обращение с радиоактивными отходами, радиационная защита, ядерная наука, экономический и технический анализ ядерного топливного цикла, ядерное право и ответственность, а также и информирование общественности. Банк данных АЯЭ предоставляет странам-участницам данные в ядерной области и услуги компьютерного программного обеспечения.

Настоящий документ, а также любые данные или карты, содержащиеся в нем, не ограничивают статус или суверенитет в отношении какой-либо территории, определение международных границ и рубежей, а также наименований каких-либо территорий, городов или областей.

Исправления к публикациям ОЭСР можно найти по адресу: www.oecd.org/publishing/corrigenda.

© ОЭСР 2018

Разрешается копирование, скачивание или распечатка содержания публикаций ОЭСР для собственного пользования, а также допускается включение выдержек из публикаций, баз данных и мультимедийной продукции ОЭСР в документы, презентации, блоги, веб-сайты и учебные материалы при условии наличия соответствующей ссылки на ОЭСР в качестве источника и держателя авторских прав. Все запросы, касающиеся общественного или коммерческого использования и права на перевод, необходимо направлять на neapub@oecd-nea.org. Запросы на получение разрешения фотокопирования отрывков настоящего документа для общественного или коммерческого использования необходимо направлять непосредственно в Центр по проверке авторских прав США (Copyright Clearance Center) по адресу info@copyright.com или Французский центр применения права воспроизведения (Centre français d'exploitation du droit de copie) contact@cfcopies.com.

Фотографии на титульном листе: городской пейзаж (Shutterstock, De Panimoni); ночной Париж с высоты птичьего полёта (Shutterstock, Luciano Mortula – LGM); тающий антарктический ледник в условиях глобального потепления (Shutterstock, Bernhard Staehli); зал заседания Европейского парламента (Shutterstock, De Bangkruayan).

Предисловие

Производство, передача и потребление электроэнергии затрагивают все аспекты жизни в экономически развитых странах, являющихся членами Агентства по ядерной энергии (АЯЭ) и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Рыночные цены и производственные затраты являются важными факторами, определяющими экономику генерации. Тем не менее, в течение как минимум последних двадцати лет все чаще признается, что сама по себе стоимость электроэнергии не отражает всей полноты картины, и что социальные и экологические аспекты производства электроэнергии оказывают влияние на людей, экономику и страны, которое не учитывается в рыночных ценах, но уровень такого воздействия слишком важен и не может оставаться без внимания. Опасения по поводу антропогенного изменения климата значительно усилили данную точку зрения. Кроме того, влияние местного загрязнения вследствие выработки электроэнергии на здоровье и продолжительность жизни или страх последствий крупных аварий для человеческой жизни и экосистем уже много лет волнует политиков и общественность. К этому добавляются вопросы занятости и научно-технического прогресса.

Такие воздействия называются экстерналиями, внешними эффектами или социальными издержками. Несмотря на то, что они не отражаются в рыночных ценах, исследователи могут довольно точно определить масштаб внешнего воздействия от производства и электроснабжения, часто методом количественного расчёта, а иногда даже посредством частичного или приблизительного денежного выражения. Таким образом, полные затраты на электроэнергию определённого вида генерации представляют собой сумму частных издержек, существующих в рыночных условиях сектора, и социальных издержек. Как минимум с начала 1990-х годов, когда была начата целая серия масштабных исследований внешних эффектов, связанных с энергетикой, учёт полных затрат является частью работы, производимой большим числом исследовательских организаций.

Неожиданно внимание общественности к теме полных затрат на электроэнергию уменьшилось, частично из-за вопросов, требующих решения, связанных с изменением климата, которые имеют свою специфику и общепринятые методологические нормы. Однако вопросы, касающиеся внешних эффектов, никуда не исчезли. Конкретный яркий пример приводится Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), согласно исследованиям которой, ежегодно в мире от загрязнения воздуха и выброса твёрдых частиц, образующихся в основном в результате сжигания угля или биомассы, умирает три миллиона человек. Добавьте к этому последствия от бытового загрязнения воздуха, большей части которых можно было бы избежать за счет использования чистой электроэнергии, и ежегодное количество смертей превышает семь миллионов. Без всякого сомнения, все источники электроэнергии имеют свои преимущества и свои недостатки. Тем не менее, было бы ошибочно считать, что между ними не стоит делать различий по уровню социальных издержек, к которым настоящий отчёт привлекает особое внимание.

Несмотря на неоспоримую важность вопроса полных затрат, их оценка остаётся проблематичной. На всех этапах, от биофизических исследований влияния дозы, калибровки моделей рассеивания и вероятностной оценки до вызывающего споры вопроса о денежном выражении, усилия разных экспертных групп должны быть скоординированы благодаря крупномасштабным многолетним проектам для получения надёжных результатов. Тем не менее, такая крупномасштабная систематическая деятельность выходит за рамки данного отчёта.

В то же время проблема настолько важна, что игнорировать её далее невозможно. Таким образом, АЯЭ было принято решение о проведении настоящего анализа «Полных затрат на производство электроэнергии» для подведения итогов и обобщения результатов самых последних исследований в данной области.

Решение о публикации отчёта о полных затратах на производство электроэнергии, включающем все основные виды генерации, именно Агентством по атомной энергии может повлечь за собой вопросы о его беспристрастности. Однако авторы отчёта продемонстрировали свою твёрдую приверженность к обобщению научно обоснованной информации из широкого круга источников. Ещё большее значение имеет то, что подобные вопросы должны стать отправной точкой для более комплексного исследования

полных затрат на производство электроэнергии при поддержке широкого круга заинтересованных лиц в электроэнергетическом секторе. В любом случае настоящий отчёт вносит свою лепту в определение приоритетных направлений, таких как сокращение загрязнения воздуха, снижение выбросов парниковых газов и обоснованное распределение системных издержек, которые требуют проведения новых, углубленных исследований.

Исследование полных затрат в энергетике и электроэнергетике должно проводиться на постоянной основе. В отчёте подчёркивается важность учёта полных затрат, в частности, в контексте перехода на нетрадиционные источники энергии, происходящего во многих странах. В идеале - отчёт будет толчком для новых всесторонних исследований полных затрат в электроэнергетике, что позволит политикам и общественности принимать более взвешенные решения на пути создания новых энергетических систем, полностью отвечающих требованиям устойчивого развития.



Благодарность

«Полные затраты на производство электроэнергии» – это совместная работа Отдела технологического развития и экономики атомной энергетики, входящего в состав Агентства по ядерной энергии, под эгидой Рабочей группы по экономике атомной энергетики (WPNE) во главе с Мэтью Крозатом и профессором, доктором Альфредом Фоссом. Исследование утверждено вышестоящим комитетом WPNE, Комитетом по развитию атомной энергетики АЯЭ (NDC).

Исследования координировались доктором Яном Хорстом Кеплером, старшим советником по экономическим вопросам при АЯЭ, который также внёс вклад в подготовку главы 1 («Полные издержки. Ключевые понятия, определение и интернализация»), главы 4 («Воздействия на изменение климата»), главы 5 («Загрязнение воздуха», совместно с Карлом Аспелундом из Гарвардского университета), главы 7 («Изменения в землепользовании и истощение природных ресурсов», совместно с Карлом Аспелундом), главы 8 («Надёжность энергоснабжения и электроснабжения»), а также политических выводов («Политические последствия полного учёта затрат в электроэнергетике»). Доктор Джеффри Ротуэлл, главный экономист при АЯЭ внёс вклад в подготовку главы 2 («Производственные издержки на уровне электростанции») и главы 9 («Роль электроэнергетического сектора в создании рабочих мест»). Доктор Марко Кометто, аналитик по атомной энергии АЯЭ, подготовил главу 3 («Системные издержки на уровне сети») и главу 6 («Издержки, связанные с крупными авариями»). Доктор Марк Дефрен внёс вклад в подготовку главы 10 («Влияние инноваций в энергетике на экономические показатели и рост»). Исследования проводились под руководством доктора Даниэля Иракана (заместителя генерального директора и руководителя по ядерным вопросам), доктора Чжэ Чжу Ха и доктора Анри Пайера (соответственно бывшего и действующего руководителя Отдела технологического развития и экономики атомной энергетики, входящего в состав АЯЭ).

Участники Международного семинара WPNE, посвященного полным затратам на производство электроэнергии, состоявшегося 20 января 2016 года, оказали помощь в подготовке структуры и содержания настоящего отчёта. АЯЭ также получило большое количество комментариев от стран-членов, включая Австрию, Германию, Канаду, Россию, Францию, Швейцарию и Японию, а также от представителей WPNE. Ценные комментарии также были сделаны экспертами при Международном энергетическом агентстве (МЭА). Данные высококвалифицированные и профессиональные комментарии значительно улучшили окончательную редакцию документа. Они подчеркивают политическую значимость изучения полных затрат на производство электроэнергии, а также необходимость проведения дальнейших исследований по наиболее значимым аспектам данной важной темы.





Содержание

Предисловие	3
Благодарность	5
Содержание	7
Аббревиатуры и сокращения	11
Резюме	13
Полные затраты: ключевые понятия, определение и интернализация	14
Производственные издержки на уровне электростанции	16
Системные издержки на уровне сети.....	17
Воздействия на изменение климата	19
Загрязнение воздуха	20
Издержки, связанные с крупными авариями	21
Изменения в землепользовании и истощение природных ресурсов	21
Надёжность энерго- и электроснабжения	22
Роль электроэнергетического сектора в создании рабочих мест	22
Влияние инноваций в энергетике на экономические показатели и рост	22
Политические последствия полного учёта издержек в электроэнергетике	23
Загрязнение воздуха, изменение климата и системные издержки составляют бóльшую часть не подвергшихся интернализации издержек.....	23
Политики должны учитывать полные издержки там, где это наиболее важно	24
Список литературы.....	25
Глава 1. Полные затраты. Ключевые понятия, определение и интернализация	27
1.1. Ключевые понятия	27
Анализ полных затраты в энергетическом секторе. Роль Агентства по ядерной энергии.....	31
1.2. Оценка и интернализация системных затрат на уровне сети	34
Всегда ли системные эффекты на уровне сети представляют собой экономические внешние эффекты, связанные с благосостоянием?.....	38
Интернализация системных эффектов на уровне сети	41
1.3. Оценка и интернализация внешних социальных издержек.....	42
Вопрос социальных издержек	44
Экологические налоги, субсидии и торговля квотами на выбросы	49
а) Экологические налоги и нормы	49
б) Субсидии	49
в) Торговля квотами на выбросы.....	50
Измерение полных затрат	51
Динамический характер внешних эффектов	57
1.4. Выводы.....	59
Прямые экономические воздействия	60
Воздействия на окружающую среду и здоровье населения	60
Социальные и непрямые экономические воздействия.....	60

Список литературы.....	62
Глава 2. Производственные издержки на уровне электростанции	65
2.1. Введение.....	65
2.2. Доля однодневных затрат на уровне электростанции в полной приведённой стоимости	68
2.3. Затраты на финансирование на уровне электростанции.....	69
2.4. Переменные и приведённые издержки на уровне электростанции	70
2.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	73
Список литературы.....	74
Глава 3. Системные издержки на уровне сети	76
3.1. Введение.....	76
3.2. Определение системных эффектов, методологические вопросы, трудности и неопределённость	77
3.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки	82
Издержки на резервирование и стоимость производства электроэнергии на основе ПВИЭ	82
Издержки на выравнивание нагрузок.....	85
Сетевые издержки (передача и распределение) и издержки на подключение	86
Долгосрочные системные издержки: обобщение	87
3.4. Перспективы интернализации	88
3.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	89
Список литературы.....	90
Глава 4. Воздействия на изменение климата.....	93
4.1. Введение.....	93
4.2. Методологические вопросы, количественные оценки и состояние исследовательской деятельности	95
4.3. Перспективы интернализации	100
4.4. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	104
Список литературы.....	105
Глава 5. Загрязнение воздуха	107
5.1. Введение.....	107
5.2. Основные исследования и количественные оценки.....	108
Ископаемые виды топлива	110
Уголь.....	110
Нефть и природный газ	111
Биомасса.....	111
Низкоуглеродные источники	111
Ядерная энергия	111
Ветровая энергия	112
Гидроэнергетика	112
Фотоэлектрическая солнечная энергия	112
Геотермальная энергия	113
Приливная энергия	113
5.3. Оценка ущерба	113
Определение стоимости ущерба по типам выбросов	114
5.4. Перспективы интернализации	116
5.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	118
Список литературы.....	119



Глава 6. Издержки, связанные с крупными авариями	123
6.1. Введение	123
6.2. Методологические вопросы, трудности количественной оценки и неопределённость	124
6.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественная оценка	127
База данных и методология ENSAD	128
Анализ различных энергетических цепочек	130
Угольные электростанции	130
Нефтяные электростанции	130
Электростанции, использующие природный и сжиженный нефтяной газ	131
Атомные электростанции	131
Гидроэлектростанции	132
Ветряные, солнечные электростанции и электростанции, использующие новые возобновляемые источники энергии	132
Сравнительный анализ	133
Другие результаты/исследования	136
6.4. Перспективы интернализации	136
6.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику	139
Список литературы	140
Глава 7. Изменения в землепользовании и истощение природных ресурсов	143
7.1. Введение	143
7.2. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки.	
Землепользование	144
Схемы землепользования различных источников энергии	145
Уголь	146
Нефть и природный газ	146
Ядерная энергия	147
Ветровая энергия	147
Солнечная энергия	147
Гидроэнергия	148
Биомасса	148
Геотермальная энергия	149
Приливная энергия	150
7.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки.	
Истощение ресурсов	150
7.4. Перспективы интернализации	154
7.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику	155
Список литературы	157
Глава 8. Надёжность энергоснабжения и электроснабжения	159
8.1. Введение	159
8.2. Методологические вопросы, трудности количественной оценки и неопределённость	160
Два ключевых аспекта надёжности энергоснабжения	161
8.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки	163
8.4. Перспективы интернализации и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику	168
Список литературы	168

Приложение 8.А1. Обзор оценки показателей надёжности энергоснабжения.....	171
Глава 9. Роль электроэнергетического сектора в создании рабочих мест	173
9.1. Введение	173
9.2. Рабочие места и уровень образования в секторе атомной энергетики	174
Сектор атомной энергетики	174
Другие энергетические секторы	178
9.3. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	183
Список литературы.....	183
Глава 10. Влияние инноваций в энергетике на экономические показатели и рост.....	185
10.1. Введение.....	185
10.2. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки	186
Традиционный подход к оценке экономических вкладов	186
Анализ торговых балансов	187
Влияние на занятость.....	187
Бюджет на НИОКР, потребление энергии и рост	188
Финансирование НИОКР в мировом масштабе	192
10.3. Методологические вопросы, ограничения и неопределённость	194
Моделирование	194
Некоторые результаты.....	196
10.4. Перспективы интернализации	197
10.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику.....	198
Список литературы.....	199
Глава 11. Политические выводы.....	201
Политические последствия полного учёта затрат в электроэнергетике.....	201
Загрязнение воздуха, риски, связанные с изменением климата, и системные издержки составляют большую часть издержек, не подвергшихся интернализации	202
Порядок интернализации.....	205
Список литературы.....	207
Приложение А. Список участников «Международного семинара по полным затратам на производство электроэнергии».....	209



Аббревиатуры и сокращения

АООС	Агентство по охране окружающей среды (США)
АЭС	Атомная электростанция
АЯЭ	Агентство по ядерной энергии
ВАБ	Вероятностный анализ безопасности
ВВП	Валовой внутренний продукт
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ГВт	Гигаватт
ГВт·ч	Гигаватт-час
ГП	Готовность платить
ГТКЦ	Газовая турбина комбинированного цикла
ГТОЦ	Газовая (или нефтяная) турбина открытого цикла
ДООС	Директорат по охране окружающей среды ОЭСР
ЕС	Европейский союз
ЗТ	Зеленый тариф
ИРид	Исследования, разработки и демонстрация
кВт·ч	Киловатт-час
КЗ	Кратность запасов
КРЦ	Контракты на разницу цен
КСЭ	Концентрированная солнечная энергия
ЛОС	Летучее органическое соединение
МВт	Мегаватт
МВт·ч	Мегаватт-час
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
МЭА	Международное энергетическое агентство
НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НЗТ	Надбавка к зелёному тарифу
НПО	Неправительственная организация
ОХД	Обычный ход деятельности
ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
ПВИЭ	Переменчивые возобновляемые источники энергии
ПГ	Парниковый газ
ПГП	Потенциал глобального потепления
ПиР	Передача и распределение
ПИСВ	Предельные издержки на сокращение выбросов

ПМЭ	Перспективы мировой экономики
П-П	Периодичность/последствие
ППСЭ	Полная приведённая стоимость электроэнергии
ПРООН	Программа развития Организации Объединенных Наций
РКИК	Рамочная конвенция ООН об изменении климата
СИУВ	Социальные издержки, связанные с углеродосодержащими выбросами
ССЖ	Оценка статистической жизни
ТЧ	Твёрдые частицы
УГС	Усовершенствованные геотермальные системы
УИСП	Упрощенный индекс спроса и предложения
УХУ	Улавливание и хранение углерода
ФКЭ	Функция «концентрация-эффект»
ЭиТО	Эксплуатация и техническое обслуживание
2DS	Двухградусный сценарий
CAA	«Закон о чистом воздухе» (США)
CASES	Оценка затрат в системах устойчивой энергетики
CRP	Программа восстановительной консервации сильноэродированных земель
DALY	Годы жизни, скорректированные по нетрудоспособности
DICE	Динамическая интегрированная модель климата и экономики
DOE	Департамент энергетики (США)
ЕАОС	Европейское агентство по окружающей среде
EGC	Экспертная группа по прогнозируемым затратам на производство электроэнергии (АЯЭ)
EPR	Европейский реактор с водой под давлением
EPRI	Научно-исследовательский институт электроэнергии
FEEM	Фондационе Энрико Маттеи в Италии
IAM	Интегрированная модель оценки
IRENA	Международное агентство по возобновляемым источникам энергии
NEEDS	Проект исследований внешних эффектов новых видов энергетики в рамках устойчивого развития
NOAA	Национальное управление океанических и атмосферных исследований
ORNL	Национальная лаборатория Оук-Ридж (США)
ppm	Частиц на миллион
PSI	Институт Пауля Шеррера
PV	Фотоэлектрический
PWR	Водо-водяной реактор
QALY	Индекс утерянных скорректированных на качество жизни лет
VOLY	Потерянные годы жизни
WPNE	Рабочая группа по экономике атомной энергетики (АЯЭ)



Резюме

Производство, передача и потребление электроэнергии затрагивают все аспекты жизни в экономически развитых странах, являющихся членами Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и Агентства по ядерной энергии (АЯЭ). Рыночные цены и производственные затраты являются важными факторами, определяющими экономику генерации. Тем не менее, в течение как минимум последних двадцати лет все чаще признается, что сама по себе стоимость электроэнергии не отражает всей полноты картины, и что социальные и экологические аспекты производства электроэнергии оказывают влияние на людей, экономику и страны, которое не учитывается в рыночных ценах, но уровень такого воздействия слишком важен и не может быть оставлен без внимания.

Несмотря на важность вопроса полных затрат, их оценка остаётся проблематичной. На всех этапах, от биофизических исследований влияния дозы, калибровки моделей рассеивания и вероятностной оценки до вызывающего споры вопроса о денежном выражении, усилия разных экспертных групп должны быть скоординированы благодаря крупномасштабным многолетним проектам для получения надёжных результатов. Тем не менее, такая крупномасштабная систематическая деятельность выходит за рамки данного отчёта.

В то же время проблема настолько важна, что игнорировать её невозможно. Таким образом, АЯЭ было принято решение о проведении настоящего анализа «Полных затрат на производство электроэнергии» для подведения итогов и обобщения результатов самых последних исследований в данной области. Исследование полных затрат в энергетике и электроэнергетике должно проводиться на постоянной основе. В отчёте подчёркивается важность учёта полных затрат, в частности, в контексте перехода на нетрадиционные источники энергии, происходящего во многих странах. В идеале - отчёт стимулирует проведение всесторонних исследований полных затрат в электроэнергетике, что позволит политикам и общественности принимать более взвешенные решения на пути создания новых энергетических систем, полностью отвечающих требованиям устойчивого развития.

В течение ряда лет АЯЭ ведет работу по анализу и исследованию различных аспектов полных затрат в электроэнергетике. Результатами этой работы является их освещение в ряде уже выпущенных или будущих публикаций. Несмотря на то, что большинство публикаций сконцентрировано на атомной энергии, некоторые из них посвящены разным видам производства энергии. Среди них:

- «Риски и преимущества атомной энергии» (*Risks and Benefits of Nuclear Energy*) (2007).
- «Сопоставление рисков ядерных аварий с рисками от других источников энергии» (*Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*) (2010).
- «Надёжность энергоснабжения и вклад атомной энергии» (*The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*) (2010).
- «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии: обновленная информация за 2010 год» (*Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Update*) (2010), совместно с Международным энергетическим агентством (МЭА).
- «Экономические аспекты долгосрочной эксплуатации атомных электростанций» (*Economics of Long-term Operations of Nuclear Power Plants*) (2012).
- «Атомная энергия и возобновляемые источники энергии. Системные эффекты в низкоуглеродных энергосистемах» (*Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems*) (2012).
- «Экономические аспекты завершающей стадии ядерного топливного цикла» (*The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle*) (2013).
- «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии: обновленная информация за 2015 год» (*Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Update*) (2015), совместно с МЭА.
- «Атомная энергия: борьба с изменением климата» (*Nuclear Energy: Combating Climate Change*) (2015).
- «Затраты на вывод атомных электростанций из эксплуатации» (*Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants*) (2016).

В настоящий момент АЯЭ также работает над рядом публикаций, касающихся обсуждения вопроса полных затрат, которые появятся в ближайшие месяцы. Среди них: «Изменения климата: оценка уязвимости атомных электростанций и затраты на адаптацию» (*Climate Change: Assessment of the Vulnerability of Nuclear Power Plants and Adaptation Costs*), «Оценка возможного ущерба от ядерных аварий» (*Estimation of Potential Losses Due to Nuclear Accidents*), «Учёт занятости, обеспечиваемой сектором атомной энергетики» (*Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*) и «Системные издержки в разных вариантах глубокой декарбонизации: вклад атомной энергии и возобновляемых источников энергии» (*System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*).

Значительное количество исследований публикуется также и другими организациями, включая Директорат ОЭСР по охране окружающей среды (например: «Экономические последствия загрязнения атмосферного воздуха» (*The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*), «Стоимость последствий загрязнения воздуха: влияние автотранспорта на здоровье» (*The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*) или «Оценка риска смертности при определении политики в области охраны окружающей среды, здравоохранения и транспорта» (*Mortality Risk Evaluation in Environment, Health and Transport Policies*)) и МЭА (например: «Специальный отчёт по прогнозу мировой энергетики за 2016 год: энергетика и загрязнение воздуха» (*World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*) или «Эксплуатация переменчивых возобновляемых источников энергии. Руководство по достижению баланса» (*Harnessing Variable Renewables: A Guide to the Balancing Challenge*)), наряду с обилием научных изданий, посвящённым полным затратам в энергетике. Краткий обзор некоторых публикаций приведен в главах настоящего отчёта.

Полные затраты: ключевые понятия, определение и интернализация

Затраты на производство электроэнергии логически делятся на три крупные категории. К первой категории относятся издержки на уровне электростанции, включающие стоимость бетонных и стальных конструкций, используемых при строительстве, затраты на топливо и персонал, необходимый для эксплуатации. Каждые пять лет АЯЭ и МЭА публикуют обзор затрат промышленных энергоустановок в странах ОЭСР в серии «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» (см. выпуски МЭА/АЯЭ 2010 г. и 2015 г.; выпуск МЭА/АЯЭ 2020 г. готовится к публикации).

Ко второй категории относятся издержки на уровне энергосистемы, связанные с передачей и распределением электроэнергии. В данную группу входят издержки, возлагаемые электростанциями на систему в части расширения, увеличения мощности и подключения к сети, а также издержки на обеспечение вращающегося резерва и дополнительного резерва мощности, который может быть использован диспетчером в системах, использующих некоторые виды генерации, отличающиеся переменным характером работы, такие как ветрогенерация и фотоэлектрическая солнечная генерация.

К третьей, более широкой категории относятся издержки, касающиеся влияния на благополучие отдельно взятых людей и групп населения, живущих за пределами энергетического сектора. Это так называемые внешние или социальные издержки, включающие в себя издержки, связанные с воздействием местного и регионального загрязнения воздуха, изменением климата, землепользованием, истощением природных ресурсов и ущербом от крупных аварий, который зачастую не подлежит страхованию в полном объёме. К категории социальных издержек также относится влияние выбора той или иной технологии на надёжность энерго- и электроснабжения, занятость и региональную связность или инновационное или экономическое развитие. Если такие воздействия являются негативными, они увеличивают величину полных затрат той или иной технологии; если воздействия являются положительными, в принципе, они подлежат вычету как общественная выгода.

Полные затраты на производство электроэнергии представляют собой совокупность всех трёх категорий: издержки на генерацию на уровне электростанции, системные издержки на уровне сети, а также внешние социальные издержки и издержки, связанные с охраной окружающей среды (см. рис. ES.1).

В случае системных издержек на уровне сети и внешних издержек, субъекты экономической деятельности, вызывающие их, не являются теми, кто испытывает на себе их влияние в первую очередь. Таким образом, системные издержки на уровне сети также содержат «внешний» или «социальный» компонент. По существу, это означает, что необходимо вмешательство внешнего субъекта, правительства, регулирующего органа или системного оператора, для предотвращения перепроизводства таких внешних издержек и обеспечения их надлежащей интернализации. Для этого в экономической теории разработан ряд соответствующих инструментов, включающих стандарты и технические нормы, налоги на загрязнение окружающей среды, новые рынки (например, торговля квотами на выбросы), улучшение распространения информации и научных исследований, а также всеобщее совершенствование правовой системы. Ликвидация пробелов в знаниях также является частью перехода к энергетическим системам, отвечающим требованиям устойчивого развития.

Рисунок ES.1: Категории издержек, составляющих полные затраты на производство электроэнергии



Источник: АЯЭ, 2012b.

Опасения по поводу того, что в результате интернализации увеличатся цены на электроэнергию, регулярно приводят к замедлению работы над этим вопросом. Тем не менее, эксперты и хорошо информированные политики обязаны настаивать на интернализации социальных издержек, поскольку существует разумная степень уверенности в том, что интернализация издержек позволит улучшить благополучие общества в целом, означая не что иное, как увеличение размера «экономического пирога». Интернализация должна быть проведена на уровне отдельно взятой технологии, чтобы вызвать соответствующий эффект замещения, что приведёт к появлению общей системы с минимизированными полными затратами на производство электроэнергии. При необходимости могут быть разработаны адекватные механизмы компенсации для устранения нежелательных последствий распределения.

Вопрос учёта полных затрат на основе определения внешних издержек вызывает противоречия. Монетизация социальных издержек вне поля действия рынка может быть неправильно истолкована как попытка свести благополучие населения к вопросу о долларах и центах. Большой уровень неопределённости, который может привести к результатам, существенно изменяющимся со временем или при сравнении сопоставимых проектов, также представляет собой лёгкую мишень для критиков. Было высказано мнение, что социальные факторы являются одним из последствий, которые останутся за рамками даже самых всеобъемлющих работ.

Большая часть подобной критики основана на неправильном понимании цели, преследуемой учётом полных затрат. Полученная оценка доли социальных издержек в сумме полных затрат на производство электроэнергии никогда не сможет заменить более достоверную информацию об индивидуальных и общественных предпочтениях, отражаемую рыночными ценами. Цель учёта полных затрат заключается в определении порядка величины, что позволит конструктивным образом включить в повестку дня общественной и политической дискуссии самые неотложные вопросы и неизбежно приведёт к достижению компромиссных решений, свойственных процессу разработки политики. При этом в процессе учёта полных затрат неизбежно будут использоваться как точные рыночные данные, оценки, заслуживающие разумного уровня доверия, так и менее надёжные оценки. Последние лучше всего рассматривать как рациональные и обоснованные предположения, даже если они сделаны ответственными и опытными специалистами.

Определённый уровень социальных издержек, как, например, связанных с загрязнением воздуха или последствиями крупной аварии, часто ассоциируется с соответствующей технологией, как и в настоящем отчёте. Наличие или отсутствие специального оборудования для мониторинга загрязнения или каких-либо физических преград может уменьшить или увеличить уровень воздействия. В таких случаях необходимо опираться на здравый смысл для выбора эталонной технологии, которую следует использовать. Именно по этой причине настоящий отчёт организован по тематическому, а не технологическому принципу. Цель отчёта заключается не в установлении рейтингов, а в привлечении внимания к недостаточно изученным вопросам, интернализация которых должна быть улучшена в процессе разработки соответствующей политики.

Означает ли это, что наличие хоть каких-то цифр не лучше их отсутствия, как иногда предполагается? Для выработки политики наличие цифр, предложенных компетентным исследователем на основании наилучшей доступной информации, наряду с указанием соответствующих источников, неопределённостей и оговорок, безусловно, будет лучше, чем их отсутствие, несмотря на все неопределённости и оговорки. Цель учёта полных затрат не заключается в том, чтобы пойти по пути экономического империализма, равно как и не в создании бесполезных противоречий между рыночными ценами и социальными издержками. Его единственная цель заключается в улучшении разработки политики в энергетическом секторе.

В целом в основе настоящего исследования лежит прагматический подход частичного равновесия. Таким образом, внешние эффекты производства электроэнергии, касающиеся различных политических аспектов, такие как системные издержки на уровне сети, издержки, связанные с загрязнением воздуха или изменением климата, рассматриваются отдельно. Альтернативный вариант комбинированного анализа с помощью вычислимой модели общего равновесия, полномасштабных моделей «затраты-выпуск» или макроэконометрической модели привел бы к ухудшению прозрачности и удобочитаемости результатов, которые в первую очередь предназначаются для политиков. Содействие более комплексному и структурированному обсуждению данных вопросов на уровне принятия политических решений, а не на уровне научной дискуссии, является основной целью настоящего отчёта.

Производственные издержки на уровне электростанции

Производственные издержки на уровне электростанции являются первой и самой ограниченной из трех категорий, указанных выше на рис. ES.1. АЯЭ начало публикацию отчётов об издержках на уровне электростанции в серии «Прогнозируемые издержки на производство электроэнергии» (Projected Costs of Generating Electricity) в 1983 году, сравнивая издержки атомной (АЭС) и угольной электростанции. МЭА присоединился к работе, опубликовав в 1989 году совместный с АЯЭ отчёт. Оба агентства совместными усилиями выпускали регулярные обновления данного исследования в 1992, 1998, 2005, 2010 и 2015 годах для оценки полной приведённой стоимости электроэнергии (LCOE) для различных технологий.

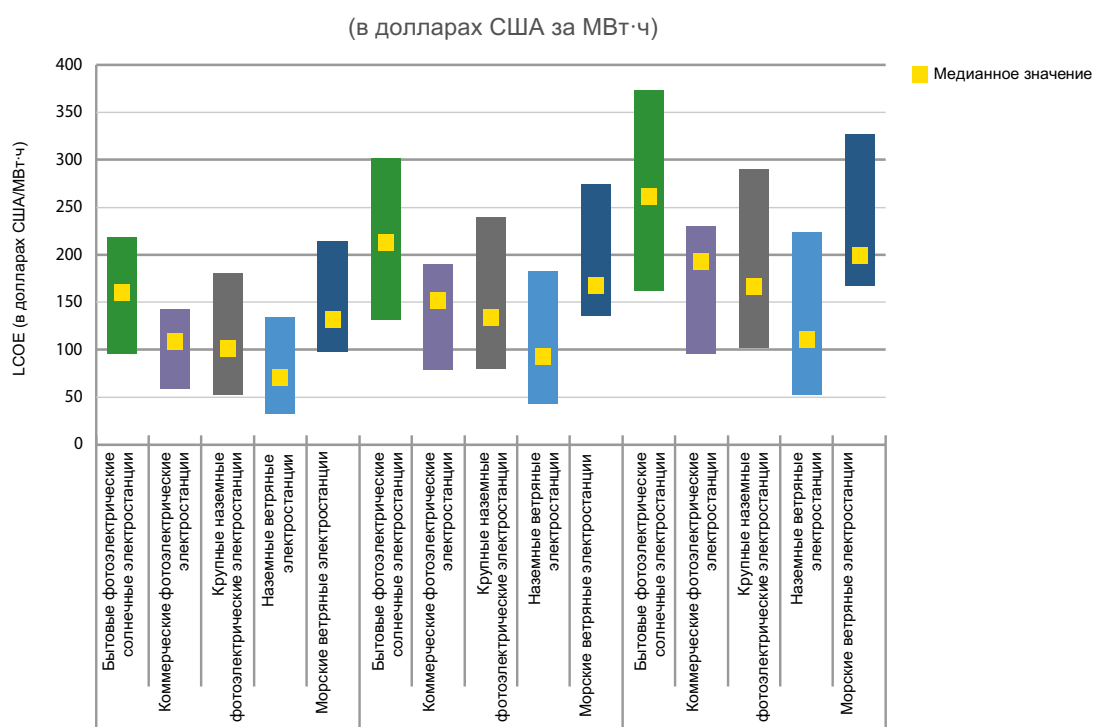
Показатель LCOE означает дисконтированные затраты в течение всего жизненного цикла для различных технологий базовой генерации, усреднённых по общему объёму выработанной электроэнергии. Данные о такой стоимости интересны при выборе инвестиционных решений на регулируемых рынках с монопольной энергокомпанией, но она имеет меньшую значимость для дерегулированных систем электроснабжения, доходы которых периодически изменяются на протяжении всего жизненного цикла генератора электроэнергии. Кроме того, показатель LCOE не способен отражать системные издержки некоторых технологий (см. рис. ES.2 ниже). Несмотря на данные ограничения, LCOE часто является эффективным первичным показателем благодаря своей простоте и прозрачности.

Рисунок ES.2: **Издержки на уровне электростанции для различных технологий производства электроэнергии**

(в долларах США за МВт·ч)



Рисунок ES.2: **Издержки на уровне электростанции для различных технологий производства электроэнергии (продолжение)**



Источник: МЭА/АЯЭ (2015).

На рис. ES.2 представлены результаты оценки издержек на уровне электростанции для технологий, предусматривающих возможность диспетчерского управления, и технологий, использующих возобновляемые источники энергии, при капитальных затратах, составляющих 3 %, 7 % и 10 %, с учётом вариации цен на топливо в разных регионах, при коэффициенте нагрузки 85 % для атомных, угольных и газовых электростанций, при цене на единицу сокращения выбросов, составляющей 30 долларов США за тонну CO₂. Последний показатель предполагает по крайней мере частичную интернализацию социальных издержек, связанных с изменением климата в результате выбросов двуокиси углерода, нормативно предусмотренной в странах ОЭСР (МЭА/АЯЭ, 2015, рис. ES.1, с. 14 и рис. ES.2, с. 15). При прямых выбросах двуокиси углерода при использовании угля, составляющих около одной тонны за МВт·ч, и выбросах при использовании газа, составляющих около 400 кг за МВт·ч, соответствующие медианные значения были бы примерно на 30 долларов США и 12 долларов США ниже, если бы не предпринималось никаких мер по сокращению выбросов CO₂.

Системные издержки на уровне сети

Несмотря на то, что системные издержки в распределённых системах электроснабжения существовали всегда, эта тема стала привлекать к себе внимание в последние несколько лет в связи с развёртыванием значительного количества возобновляемых источников энергии, работающих в переменном режиме (ПВИЭ), во многих странах ОЭСР. Такие системные затраты часто делят на три большие категории:

- **Издержки на резервирование** связаны с переменчивостью генерации на основе ПВИЭ и само существование таких издержек подтверждает то, что в энергосистемах с ПВИЭ обеспечение резервной мощности, как правило, обходится гораздо дороже. Таким образом, происходит удорожание всей энергосистемы, даже если издержки на уровне электростанции сопоставимы для систем с ВИЭ и без них.
- **Издержки на выравнивание нагрузок** связаны с неопределённостью при производстве электроэнергии в связи с непредвиденными отключениями электростанции или ошибками, допущенными при производственном планировании. Непредвиденные отключения электростанции или ошибки в прогнозе выработки электроэнергии требуют увеличения вращающегося резерва. Неопределённость при производстве энергии в системах с ПВИЭ также может привести к увеличению требований к манёвренности традиционных электростанций, неэффективности планирования работы электростанции и, вообще, к увеличению издержек всей энергосистемы.

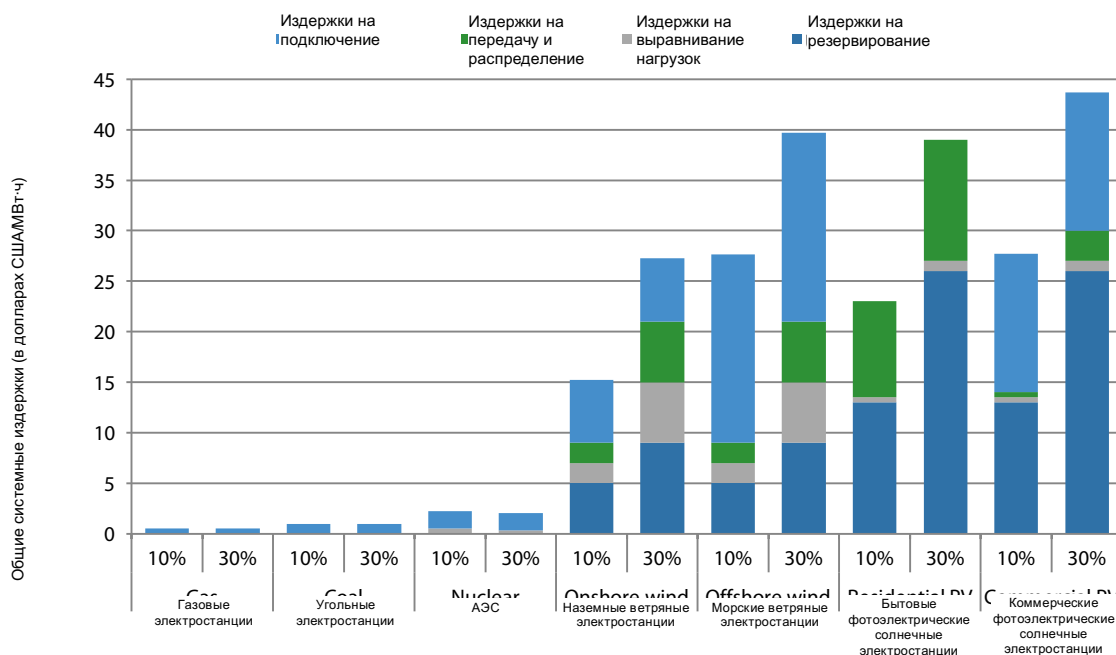
Сетевые издержки и издержки на подключение к сети отражают воздействие на инфраструктуру сети электропередачи и распределения, существующие из-за ограничений, связанных с местонахождением электростанций. Несмотря на то, что все электростанции могут иметь некоторые ограничения, связанные с их местонахождением, данный фактор более значимым образом влияет на энергосистемы с ПВИЭ. Ввиду географических ограничений, может потребоваться строительство новых линий электропередачи или увеличение пропускной мощности существующей инфраструктуры (усиление энергосистемы) для передачи

электроэнергии от центров производства к центрам нагрузки. Кроме того, наличие в энергосистеме большой доли распределённых фотоэлектрических ресурсов может потребовать значительных инвестиций в распределительную сеть, в частности, для обеспечения притока электроэнергии от производителя в сеть, когда объём вырабатываемой электроэнергии превышает спрос. Издержки на подключение (т. е. затраты на подключение электростанции к ближайшей точке подключения сети электропередачи) также могут быть значительными, особенно при необходимости подключения отдалённых ресурсов, как это иногда происходит с морскими ветряными электростанциями.

Любая количественная оценка воздействий системы является проблематичной не только из-за сложности, присущей рассматриваемым явлениям, а также ввиду того, что системные издержки в значительной степени зависят от особенностей анализируемой системы, рассматриваемых временных рамок, а также характеристик оцениваемой технологии и её доли в структуре генерирующих мощностей. Кроме того, структура генерирующих мощностей, а также прогнозируемая доступность и стоимость будущих технологий играют ключевую роль в оценке системных издержек. В дальнейшем система может изменяться благодаря инновациям и технологическому прогрессу. Следовательно, любая оценка системных издержек связана со значительной степенью неопределённости и не может быть легко применена к какой-либо другой системе или другому контексту.

На рис. ES.3 представлен пример оценки системных издержек на уровне сети для различных технологий базовой генерации и технологий, использующих ВИЭ, сделанной на основе открытых источников и материалов исследования АЯЭ «Ядерная энергия и возобновляемые источники энергии: системные эффекты в низкоуглеродных энергосистемах» (Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems) (АЯЭ, 2012), результаты которого по-прежнему актуальны с учетом новых данных, полученных благодаря расширенному использованию переменчивых возобновляемых источников энергии, произошедшему с момента публикации. Цель данного рисунка, представленного в качестве примера, заключается не в том, чтобы дать оценку системных издержек для определённой системы, а скорее в том, чтобы наглядно отобразить действие соответствующих эффектов и дать порядок величины их значений. Несмотря на высокий уровень неопределённости, большинство оценок показывают, что системные издержки на уровне сети, связанные с внедрением ПВИЭ, достигают значительного размера и увеличиваются непропорционально с долей ПВИЭ в вырабатываемой электроэнергии (т.е. с уровнем замещения). Для сравнения, уровень системных издержек технологий, управляемых диспетчером, таких как угольные, газовые, атомные и гидроэлектростанции, как минимум на один порядок ниже.

Рисунок ES.3: Системные издержки на уровне сети для некоторых технологий генерации на основе ПВИЭ с уровнем замещения 10 % и 30 %



Принимая во внимание масштабы системных эффектов и их воздействие на рынки электроэнергии, правительства и политики должны внедрять меры, направленные на их максимальную интернализацию. Если говорить более конкретно, необходимо, чтобы все технологии работали в

условиях рыночной экономики и несли за свой счёт все издержки на подключение электростанции к сети передачи и распределения.

Воздействия на изменение климата

На протяжении последних двадцати лет стремление к сокращению выбросов парниковых газов с целью предотвращения или смягчения воздействия антропогенных факторов на изменение климата имеет первостепенное значение для политиков во многих странах. Однако, наличие данного приоритета не обеспечило возможности расчёта и выражения в денежном эквиваленте последствий сжигания ископаемого топлива. Существуют три основных проблемы в данном контексте: 1) различные факторы неопределённости, 2) вопрос дисконтирования будущих воздействий, 3) проблемы распределения ответственности между заинтересованными сторонами.

Таким образом, принимая во внимание вышеуказанные факторы, для многостороннего анализа процесса был выбран иной подход. Вместо оценки предельных социальных издержек была поставлена цель расчёта объёма выбросов, который считался бы оптимальным с социальной точки зрения. Такие количественные целевые показатели можно определить исходя из годового объёма выбросов парниковых газов, степени их концентрации в атмосфере или исходя из повышения глобальной температуры, к которому может привести такая концентрация. В итоге, именно последний показатель наилучшим образом дал представление политикам и общественности о всех возможных последствиях изменения климата и степени их вероятности, т.е. представление об увеличении средней глобальной температуры по сравнению со средней глобальной температурой, наблюдавшейся до промышленной революции. На международных форумах сформировался консенсус о необходимости предотвратить увеличение температуры более чем на 2°C.

Таблица ES.1: **Предельные издержки на сокращение выбросов для сценариев с 500 ppm и 450 ppm**

(в евро по курсу 2005 г. за тонну CO₂)

	2025		2050	
	Диапазон	Среднее значение	Диапазон	Среднее значение
500 ppm	37 – 119	60	79 – 226	130
450 ppm (2DS)	69 – 241	129	128 – 396	225

Таким образом, предельные издержки на достижение 2DS с 450 ppm в 2050 году составят 225 евро за тонну CO₂. В сущности, это соответствовало бы необходимому уровню налога на выбросы двуокси углерода. Ppm: частиц на миллион

Источник: по материалам Койка и др. (*Kuik et al.*), 2009.

В результате комплексного анализа предельных издержек, соответствующих 2DS, определённым большим количеством разных климатических и энергетических моделей, были получены значения предельных издержек на сокращение выбросов (ПИСВ) для целевых показателей концентрации в 450 ppm и 500 ppm в 2025 и 2050 годах (см. табл. ES.1). Данные значения подразумевают, что стоимость единицы сокращения выбросов за тонну CO₂ составит как минимум 100 долларов США к 2025 году и 200 долларов США к 2050 году.

Загрязнение воздуха

Наибольшие не подвергшиеся интернализации издержки при производстве электроэнергии связаны с загрязнением воздуха. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение воздуха представляет собой главнейшую опасность для окружающей среды на глобальном уровне. В рамках исследований ВОЗ, проведённых в 2014 и 2016 годах, было определено, что в 2012 году более 7 миллионов человек умерли в результате загрязнения воздуха (ВОЗ, 2014a, 2014b и 2016). Около 3 миллионов человек умерли в результате загрязнения атмосферного воздуха, основным источником которого является производство электроэнергии, а 4,3 миллиона человек умерли в результате бытового загрязнения воздуха. Даже если проблема загрязнения воздуха в основном касается развивающихся стран, она также затрагивает и страны ОЭСР. По данным недавно проведённого исследования, в странах ОЭСР ущерб для общественного благосостояния от загрязнения воздуха намного превышает один триллион долларов США, что приблизительно соответствует 3 % от валового внутреннего продукта (ВВП) (ОЭСР, 2016).

Наиболее детально изучаемыми источниками загрязнения воздуха являются твёрдые частицы (ТЧ) различных размеров, приземный озон (O₃), окиси серы (SO_x), окиси азота (NO_x) и свинец. Такие выбросы происходят при сжигании ископаемых видов топлива, угля, нефти, газа или биомассы и в основном воздействуют на дыхательную систему, приводя к ухудшению здоровья (заболеваемости) или преждевременной смерти (смертности). В обоих случаях уровень неопределённости остаётся высоким. В 2012 году в своем мета-исследовании Бертрау, Крупник и Сэмпсон (*Burtraw, Krupnick and Sampson*) (2012) представили обзор результатов четырёх самых значимых исследований, проведённых за последние двадцать лет (см. табл. ES.2).

Таблица ES.2: **Сводные данные четырёх исследований по анализу внешних издержек**
(в миллиардах* на кВт·ч или в долларах США на мВт·ч)

	Угольные электростанции	Торфяные электростанции	Нефтяные электростанции	Газовые электростанции	АЭС	Станции на биомассе	Гидроэлектростанции	ФСЭС	Ветряные электростанции
ORNL/RFF	2,3	–	0,35 – 2,11	0,35	0,53	3	–	–	–
Роу и др. (Rowe et al.)	1,3 – 4,1	–	2,2	0,33	0,18	4,8	–	–	0,02
ExternE, EK	27 – 202	27 – 67	40,3 – 148	13,4 – 53,8	3,4 – 9,4	0 – 67	0 – 13	8,1	0 – 3,4
Комиссия по ядерному регулированию (NRC)	2 – 126	–	–	0,01 – 5,78	–	–	–	–	–

* Миль – одна десятая цента или одна тысячная доллара; ФСЭС – фотоэлектрические солнечные электростанции.

Источник: Бертрау и др., 2012

Несмотря на то, что ещё многое предстоит сказать об уровнях неопределённости, плотности населения и моделировании рассеивания атмосферных примесей, существующие работы позволяют сделать предварительные выводы. Бертрау, Крупник и Сэмпсон, например, заявляют следующее:

В целом, результаты, приведённые в табл. 1 [здесь табл. ES.2] и научных изданиях, подтверждают установленный порядок классификации ископаемых видов топлива, в котором жизненный цикл угольного топлива создаёт больше негативных последствий, чем жизненный цикл нефтяного топлива, который, в свою очередь, наносит больший ущерб, чем жизненный цикл природного газа. Эта разница будет ещё более отчётливо видна с точки зрения воздействия на изменение климата... Ядерный топливный цикл в целом характеризуется более низкими внешними издержками, однако отдалённая вероятность аварий значимым образом увеличивает фактор последствий при оценке. Как правило, на стадии эксплуатации фотоэлектрической и ветровой энергии выбросов не образуется, однако на определённых этапах жизненного цикла эти источники всё же наносят определённый ущерб (Бертрау и др., 2012: с. 13-14).

В табл. ES.2 не учтены последствия изменения климата. Поскольку при сгорании ископаемое топливо является основным источником как выбросов парниковых газов, так и местного и регионального загрязнения воздуха, между этими двумя аспектами существует очевидная взаимосвязь. В то время как меры, направленные на уменьшение последствий загрязнения воздуха, *могут* сократить уровень выбросов парниковых газов, хотя и не обязательно приводят к этому результату, сокращение объёма выбросов парниковых газов всегда способствует снижению уровня загрязнения воздуха.

Издержки, связанные с крупными авариями

За последние тридцать лет число сообщений о причинённом ущербе (но не обязательно число смертельных случаев) в результате стихийных бедствий и антропогенных аварий постоянно растёт. Этой тенденции способствовал ряд факторов, повысивших уровень уязвимости населения перед лицом опасности возникновения аварий и бедствий: рост населения и мировой экономики, индустриализация, урбанизация и развитие прибрежных и других районов повышенной опасности, а также взимопроникновение и усложнение объектов инфраструктуры. Возможно, росту ущерба также способствовало улучшение информирования о произошедших событиях. Наибольший ущерб в плане человеческих жертв и экономических последствий причиняют стихийные бедствия. Если рассматривать только антропогенные аварии, второе место занимает энергетический сектор, на транспортные операции которого приходится около 60% всех смертельных случаев (ЕК, 1995).

Однако внешние издержки от тяжёлых аварий, касающиеся всех видов энергетики, на несколько порядков ниже издержек, связанных с загрязнением и углеродосодержащими выбросами, возникающими при нормальной эксплуатации. Вместе с тем не следует пренебрегать риском тяжёлых аварий во всех энергетических цепях, поскольку они способны оказывать широкомасштабное и долговременное влияние на здоровье людей, окружающую среду и общество в целом. Кроме того, тяжёлые аварии широко освещаются средствами массовой информации и привлекают внимание населения и разных заинтересованных сторон. Многие исследования указывают на то, что такое широкое освещение в СМИ может привести к завышению оценки вероятности и предполагаемого риска возникновения тяжёлых аварий. Таким образом, вероятность летальных исходов от бедствий, широко освещаемых в СМИ, воспринимается как более высокая по сравнению с событиями, о которых в СМИ сообщается меньше, но чей уровень смертности выше. Определённую роль также играет неприятие риска. В целом следует провести дополнительные научные и экономические исследования и получить больше конкретной информации о последствиях тяжёлых аварий, которая должна быть доведена до сведения общественности и политиков.

Изменения в землепользовании и истощение природных ресурсов

Различные формы генерации электроэнергии могут оказывать значительное и длительное воздействие на используемые при этом земли, доступность потребляемых ресурсов, и затрагиваемые экосистемы. Наряду с тем, что такие воздействия могут быть существенными, точный характер изменений в землепользовании в значительной степени зависит от местных условий и технологий. Изучение воздействий на изменения в землепользовании также представляет собой существенную методологическую проблему для полного учёта издержек, поскольку фактически торговля большей частью земель осуществляется частными собственниками, тогда как государственные земли в странах ОЭСР подпадают под действие строгих правил.

Наиболее значительными внешними издержками, связанными с изменениями в землепользовании, являются воздействия на экосистемы природных территорий. Большинство источников электроэнергии отличается значительными потребностями в земельных площадях, если принимать во внимание весь топливный цикл, включающий извлечение, переработку и утилизацию отходов. Топливом, которое имеет самые высокие требования в области землепользования, безусловно, является биомасса.

Землепользование входит в состав самой широкой категории используемых природных ресурсов, которая включает в себя загрязнение воды и истощение природных ресурсов. При том, что влияние производства электроэнергии на качество воды ограничено вне сектора горнодобывающей промышленности, истощение невозобновляемых источников энергии часто упоминается как вопрос, заслуживающий внимания со стороны политиков. Несмотря на опасения, истощение невозобновляемых ресурсов, таких как ископаемые виды топлива и уран, не должно быть основным вопросом, рассматриваемым при принятии политических решений. Поскольку торговля сырьём с высокой частной и малой дополнительной общественной стоимостью (нефтью, углем, газом и ураном) ведётся на крупных и ликвидных международных рынках, где информация о дефиците в долгосрочной перспективе широко известна и будет немедленно отражена в цене, если он когда-либо станет подлинной причиной для беспокойства. С точки зрения разработки политики наилучшим решением проблемы истощения ресурсов является поддержание существующих рынков в условиях максимальной открытости и конкурентоспособности, а также обеспечение широкого распространения информации о наличии ресурсов.

Надёжность энерго- и электроснабжения

Постоянное наличие и доступность энергии и, в частности, электроэнергии является обязательным условием для современного общества. Неудивительно, что правительства многих стран обеспокоены пониманием факторов, влияющих на надёжность энерго- и электроснабжения, и стремятся разработать нормативную базу и стратегию для их усовершенствования.

Дискуссии о надёжности энергоснабжения долгое время испытывали недостаток в понятных количественных показателях. В связи с этим при обработке данных за 40-летний период АЯЭ разработало индикатор надёжности энергоснабжения для стран ОЭСР – упрощённый индекс спроса и предложения или УИСП (более подробную информацию см. в главе 8). УИСП отображает значительное повышение надёжности энергоснабжения в подавляющем большинстве стран ОЭСР за 40-летний период исследования.

УИСП значительно вырос за период с 1970 по 2007 год в большинстве исследованных стран: Австралии, Великобритании, Канаде, Нидерландах, США, Финляндии, Франции, Швеции и Японии. Данный рост стал результатом внедрения атомной энергии для производства электроэнергии, снижения энергоёмкости и увеличения диверсификации таких импортируемых видов топлива, как уголь, нефть и газ. В целом все низкоуглеродные технологии, такие как атомная энергия, гидроэнергия, ветровая и солнечная энергия, обладают рядом привлекательных характеристик с точки зрения надёжности внешнего энергоснабжения. Однако они отличаются друг от друга с точки зрения роли, которую они играют в обеспечении внутрисистемной и технической надёжности снабжения, особенно в системах производств электроэнергии. Следовательно, правительства должны создавать условия, позволяющие всем низкоуглеродным технологиям содействовать улучшению надёжности энергоснабжения, и работать над полной интернализацией системных издержек, чтобы ещё больше разграничить управляемые и неуправляемые низкоуглеродные источники энергии.

Роль электроэнергетического сектора в создании рабочих мест

Поскольку занятость, необходимая для различных технологий, в условиях конкурентных рынков труда, является результатом конкурентной и постоянной минимизации издержек, можно задать вопрос, почему занятость следует рассматривать как положительный внешний эффект. Кроме создания экономической стоимости, высокий уровень занятости может способствовать социальной сплочённости и улучшению благополучия всего общества. С этой точки зрения следует принимать во внимание не только количественный, но и качественный аспект рабочей силы, которая требуется для различных технологий. При прочих равных условиях, чем выше квалификация работников и чем дольше срок трудовых договоров, тем значительнее влияние положительных внешних эффектов на социальную сплочённость на уровне местной, региональной и национальной экономики.

Если включить в анализируемые параметры эксплуатационную деятельность и промышленное производство, налицо признаки того, что атомная энергетика является сектором, имеющим больший уровень трудозатрат по сравнению с другими секторами энергетики. Он также предъявляет более высокие требования к уровню образования, чем сектор возобновляемой электроэнергетики, что может положительно отразиться на внешних эффектах с точки зрения социальной сплочённости и регионального развития. Исходя из имеющихся данных, требования к образованию работников (а также уровень заработной платы) гораздо выше в секторах строительства и эксплуатации АЭС (хотя и не такого высокого уровня, как в секторах вывода из эксплуатации и захоронения отходов), чем в секторе наземных ветряных, а также фотоэлектрических и концентрирующих солнечных электростанций.

Влияние инноваций в энергетике на экономические показатели и рост

Технологические изменения в энергетике способствуют улучшению макроэкономических показателей с точки зрения: 1) добавленной стоимости, доходов и занятости; 2) функционирования экономики, предприятий и домашних хозяйств, которые зависят от дешевого и надёжного энергоснабжения; 3) волн инноваций и побочных эффектов, вызываемых как спросом, так и предложением, которые являются главной причиной того, почему государства финансируют фундаментальные исследования и разработки (НИОКР) в области энергетики. Тенденции в финансировании НИОКР значительно изменились. С 2000 года государственный бюджет на НИОКР в области возобновляемых источников энергии был увеличен в пять раз, а в области

энергоэффективности – в два раза. Что касается атомной энергии, произошло резкое снижение ежегодного финансирования с примерно 8 млрд долларов США в 1980 году, выделенных главным образом на исследования в области управляемого деления ядра, до менее чем 3 млрд долларов США на сегодняшний день, причём теперь большая часть финансирования приходится на исследования в области термоядерного синтеза (ЕК, 2016а).

Финансирование НИОКР зачастую даёт наиболее успешные результаты в сочетании с другими инструментами. В области политики по борьбе с последствиями изменения климата, например, ценообразование, учитывающее загрязнение, должно сопровождаться поддержкой инноваций в области экологически чистой энергетики (например, посредством дополнительных субсидий на НИОКР). Новые перспективные экологически чистые технологии заслуживают самого пристального внимания с точки зрения мер поддержки, даже если это будет означать сокращение поддержки НИОКР, направленных на улучшение существующих «грязных» технологий. Следовательно, необходимы меры по поддержке широкого спектра низкоуглеродных технологий, поскольку панацеи от всех бед не существует. Политика в области инноваций также должна отличаться последовательностью благодаря применению структурно-комплексного подхода с долгосрочной перспективой.

Политические последствия полного учёта издержек в электроэнергетике

Производство и потребление электроэнергии не только являются одной из основных экономических тем, но и оказывают существенное неблагоприятное воздействие на здоровье человека, продолжительность жизни и окружающую среду. Основываясь на этом понимании, прикладные экономические исследования экстерналий (внешних эффектов или социальных издержек) часто используют электроэнергетический сектор в качестве отправной точки. В 1990-х и начале 2000-х годов серия обширных, хорошо финансируемых исследований с участием десятков экспертов высокого уровня из разных областей была сосредоточена на изучении полных издержек электроэнергетического сектора. Многие из полученных результатов не потеряли свою актуальность и сегодня. Несмотря на то, что оценка социальных издержек неизбежно содержит большой уровень неопределённости, исследования сходятся в выявлении ключевых проблемных аспектов. Однако лица, определяющие политику, никогда должным образом не применяли политические выводы, содержащиеся в данных исследованиях. Логика подсказывает, что несколько беспристрастных исследований, получивших схожие результаты, должны были бы, по крайней мере в качественном выражении, вызвать более энергичные действия для решения проблем загрязнения воздуха и изменения климата, чем те, которые страны всего мира готовы были предпринять.

Загрязнение воздуха, изменение климата и системные издержки составляют большую часть не подвергшихся интернализации издержек

Разные главы настоящего отчёта так или иначе приводят к одному и тому же выводу: при нормальной эксплуатации на стадии генерации электроэнергии внешние издержки по крайней мере на один порядок превышают издержки других этапов жизненного цикла электроэнергии (как на предшествующих, так и на последующих стадиях), а также издержки от крупных аварий. Добыча и транспортировка первичного топлива для производства электроэнергии (например, угля, нефти, газа или урана) действительно влекут за собой социальные издержки, но последние территориально ограничены и незначительны в сравнении с издержками, связанными с загрязнением воздуха. Вывод из эксплуатации и захоронение отходов на завершающей стадии топливного цикла, безусловно, вызывают значительные издержки в атомной энергетике. Однако они представляют собой экономические издержки, интернализация которых происходит посредством существующих резервов через фонды, формируемые производителями электроэнергии, что учитывается в потребительских ценах и тарифах.

Крупные аварии в энергетических структурах, будь то утечка нефти, взрыв на газопроводе, прорыв плотины, несчастный случай на шахте или ядерная авария, какими бы ужасными они ни были для тех, с кем они происходят, к счастью, случаются довольно редко в течение жизненного цикла всех технологий генерации электроэнергии и, следовательно, не отягощают результаты учёта полных издержек. Конечно, с точки зрения выработки и внедрения политики, проблема заключается в том, что подобные аварии привлекают к себе огромное внимание со стороны СМИ и населения в целом. Наибольшее число смертельных случаев зафиксировано на угледобывающих объектах и гидроэлектростанциях, т. е. в двух секторах, которые не вызывают широкой озабоченности со стороны общественности. Внимание со стороны СМИ и политиков к утечке нефти или ядерной аварии является чрезвычайным в сравнении с масштабом ущерба и количеством человеческих жертв, к которым они приводят.

Страдания отдельных людей, вызванные любым видом аварии или внешнего воздействия, независимо от того, привлекают ли они внимание общественности или нет, невозможно свести к статистическим данным. Перед политиками стоит сложная задача: уравновесить оба аспекта – законную озабоченность общественности сразу же после аварии и потребность в долгосрочном развитии энергосистемы, которая, при всестороннем изучении вопроса, является лучшим из имеющихся вариантов по минимизации риска аварий и трудностей. Чудовищные последствия от загрязнения воздуха и выбросов парниковых газов в комбинации с изменением климата или даже многомиллиардные системные издержки некоторых технологий, связанные с переменчивостью возобновляемых источников энергии, так и не смогли повлиять на восприятие проблемы общественностью. Наибольшие не подвергшиеся интернализации издержки при производстве электроэнергии связаны с загрязнением воздуха. Загрязнение воздуха также является областью активного изучения, при котором используются чётко определённые протоколы исследований и согласованные методологические принципы, приводящие к получению сходных результатов. В масштабе планеты загрязнение воздуха ежегодно приводит к смерти трех миллионов человек, чему в значительной степени способствует выработка электроэнергии.

Полные издержки, связанные с изменением климата, характеризуются большим уровнем неопределённости, но согласно устоявшейся практике, по расчётам аналитиков, они исчисляются триллионами долларов США или евро. Действия по предотвращению последствий изменения климата, играют исключительную роль в данном контексте. Широкое общественное осознание проблемы и активное внимание со стороны СМИ и политиков пока не привели к эффективному сокращению выбросов парниковых газов. Не получившие достаточного освещения подгруппы полных затрат, состоящие из системных издержек, также будут пополняться новыми видами затрат. Однако за пределами круга экспертов по электроэнергетическим рынкам о существовании данного вопроса практически не известно.

Надёжность энергоснабжения, воздействие на занятость и влияние новых технологий являются скорее техническими вопросами. Однако, в отличие от вопроса системных издержек, они получают поддержку, хотя довольно ограниченную, со стороны круга заинтересованных лиц, благодаря которым они принимаются во внимание и учитываются в процессе пусть и частичной, несовершенной интернализации.

Политики должны учитывать полные издержки там, где это наиболее важно

Внимание общественности все еще в недостаточной степени сосредоточено на вопросе, острота которого постоянно возрастает на протяжении многих лет – загрязнении воздуха, которое, в сочетании с генетическими и другими факторами, приводит к заболеваниям дыхательных путей и сердечной недостаточности. Сложность и продолжительность данного процесса значительно усложняют предоставление, учёт, распространение и восприятие соответствующей информации.

В таких случаях общественность, СМИ и политики склонны к предвзятости внимания. Авария, в результате которой раз в десять лет погибает 50 человек, привлекает неизмеримо больше внимания со стороны СМИ и политиков, чем 1000 преждевременных смертей в сочетании с ростом заболеваемости широкой группы населения из-за постоянного уровня загрязнения за тот же промежуток времени. Даже если страдания отдельных людей невозможно оценить и сравнить, беспристрастный анализ в целях улучшения общего благосостояния должен был бы привести к пониманию того, что гораздо большее число людей, скончавшихся в результате загрязнения воздуха, заслуживает по крайней мере столько же внимания, сколько и жертвы редких аварий. Однако общественное мнение, социальные силы и политическое давление привели к тому, что политическое внимание и выделяемые ресурсы непропорционально сдвигаются в сторону последних.

Сгладить такую предвзятость или изменить центр внимания – именно в этом состоит задача таких публикаций, как настоящий отчёт. Как только соответствующим подгруппам полных издержек будет уделено надлежащее внимание со стороны общественности, СМИ и политиков, можно будет лучше понять разные подходы, ведущие к интернализации. Практические инструменты экономической политики, которые следует принять во внимание, делятся на три широкие категории:

1. Ценовые и рыночные меры, такие как налоги, цены, субсидии, распределение прав собственности и создание рынков.
2. Нормы, стандарты и регламенты, используемые за неимением лучшего в рамках формирования политики.
3. Информационно-ориентированные меры, включающие поддержку НИОКР, которые не являются второстепенными или дополнительными, а лежат в основе интернализации.

Вне зависимости от выбранного инструмента власти должны быть главной движущей силой реализации политики. Когда на карту поставлены миллионы человеческих жизней, власти обязаны внедрить механизмы стимулирования, функция которых заключается в снижении транзакционных издержек и обеспечении новых ассигнований с целью значительного улучшения благосостояния для решения ключевых проблем, таких, как загрязнение воздуха.

Параллельно должна выполняться постоянная работа по улучшению информирования. Важнейшее значение имеет возрождение властями широких дебатов и масштабных работ по внешним эффектам в энергетическом секторе, которые имели место в 1980-х и 1990-х годах. В сравнении с масштабом внешних эффектов, о которых идёт речь, размер необходимых для исследований средств является ничтожными. В то же время такая работа должна проходить под строгим контролем и быть сосредоточенной на ключевых проблемах с целью содействия улучшению политики в контексте происходящего перехода на нетрадиционные источники энергии. Распространение и обобщение знаний о некоторых из наиболее существенных характеристик полных затрат на производство электроэнергии является ключом к достижению лучшей политики и построению более устойчивых энергосистем путём прогрессивной интернализации социальных издержек.

Список литературы

- Burtraw, D., A. Krupnick and G. Sampson (2012), "The True Cost of Electric Power: An Inventory of Methodologies to Support Future Decision making in Comparing the Cost and Competitiveness of Electricity Generation Technologies", Resources for the Future, Washington, DC, www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick%20TrueCosts.pdf.
- EC (2016a), EU energy trends and macroeconomic performance, Deliverable 1, ARES (2016)3737343, Ongoing Study on Macroeconomics of Energy and Climate Policies, 20 July 2016, Cambridge Econometrics (UK) and NTUA for the EC, Brussels. EC (1995), *ExternE: Externalities of Energy*, Vol. 1-6, EC, Brussels.
- IEA (2016), *World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*, OECD, Paris.
- IEA (2011), *Harnessing Variable Renewables: A Guide to the Balancing Challenge*, OECD, Paris.
- IEA/NEA (2015), *Projected Costs of Generating Electricity (2015 Update)*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf.
- IEA/NEA (2010), *Projected Costs of Generating Electricity*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6819-projected-costs.pdf.
- NEA (forthcoming a), *Climate Change: Assessment of the Vulnerability of Nuclear Power Plants and Adaptation Costs*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming b), *Estimation of Potential Losses Due to Nuclear Accidents*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming c), *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming d), *System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*, OECD, Paris.
- NEA (2016), *Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decom-npp.pdf.
- NEA (2015), *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7208-climate-change-2015.pdf.
- NEA (2013), *The Economics of the Back end of the Nuclear Fuel Cycle*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2013/7061-ebenfc.pdf.
- NEA (2012a), *The Economics of Long-term Operations of Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/reports/2012/7054-long-term-operation-npps.pdf.

- NEA (2012b), *Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems*, Figure 4.1, p. 104, Table 4.8, p. 136, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2012/7056-system-effects.pdf.
- NEA (2010a), *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6861-comparing-risks.pdf.
- NEA (2010b), *The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6358-security-energy-sup.pdf.
- NEA (2007), *Risks and Benefits of Nuclear Energy*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2007/6242-risks-benefits.pdf.
- OECD (2016), *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*, OECD, Paris.
- OECD (2014), *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, OECD, Paris.
- OECD (2012), *Mortality Risk Evaluation in Environment, Health and Transport Policies*, OECD, Paris.
- OECD (1994), *Managing the Environment: The Role of Economic Instruments*, OECD, Paris.
- Rowe, R.D., C.M. Lang, L.G. Chestnut, D.A. Latimer, D.A. Rae, S.M. Bernow, and D.E. White. (1995), *New York State Environmental Externalities Cost Study*, Empire State Electric Energy, Oceana, New York.
- WHO (2014a), *7 Million Premature Deaths Annually Linked to Air Pollution*, WHO, Geneva, www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en.
- WHO (2014b), *Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012*, Summary of results, WHO, Geneva, www.who.int/phe/health_topics/outdoorair.
- WHO (2016), *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, WHO, Geneva, www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en.

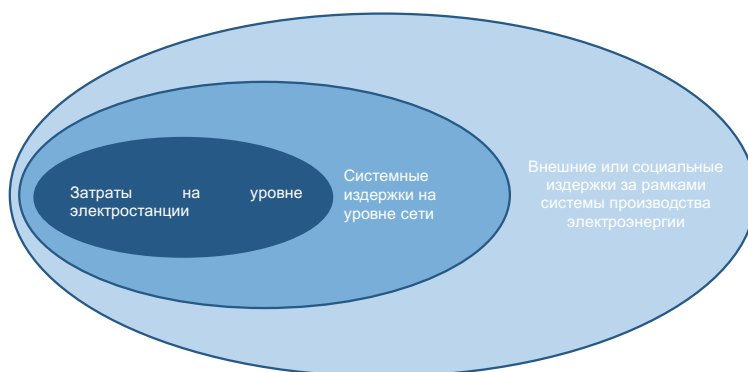
Глава 1. Полные затраты. Ключевые понятия, определение и интернализация

1.1. Ключевые понятия

Жизнь и образ жизни населения в современных развитых странах зависят от непрерывного снабжения электроэнергией в больших объёмах и по доступной цене. Частные потребители или государственные учреждения финансируют затраты на производство электроэнергии, включающие постоянные издержки (такие как капиталовложения в электростанции и сети) и переменные издержки (такие как издержки на топливо, эксплуатацию и техническое обслуживание, а также издержки на передачу и распределение). При этом возрастает озабоченность обычных граждан и политиков последствиями, которые не отражены в непосредственных финансовых издержках на производство электроэнергии на уровне электростанции. Такие последствия включают издержки, накладываемые конкретной технологией на всю энергосистему, а также последствия для окружающей среды и экономики в более широком контексте.

Такие внешние издержки, выходящие за рамки издержек электростанции, делятся на две большие категории (рис. 1.1). К первой категории относятся системные издержки на уровне конкретной электроэнергетической системы, связанные с её подключением к общей сети. Они включают дополнительные издержки, возлагаемые на систему электростанциями в части расширения, увеличения мощности и обеспечения подключения к сети, а также издержки на дополнительное резервирование и переток мощности для обеспечения возможности диспетчерского управления в случаях, когда мощность, получаемая от определённых технологий генерации, как правило, использующих ветровую и фотоэлектрическую солнечную энергию, непостоянна или переменчива. Ко второй, даже более широкой категории относятся издержки, связанные с отрицательным влиянием на уровень жизни отдельно взятых людей и групп населения, живущих за пределами энергетического сектора. К таким социальным издержкам относятся воздействия местного и регионального загрязнения воздуха, изменения климата, издержки, связанные с крупными, и часто не подлежащими страхованию в полном объёме, авариями, землепользованием и истощением природных ресурсов. К этой же категории могут относиться положительные или отрицательные последствия выбора той или иной технологии генерации электроэнергии для надёжности энерго- и электроснабжения, занятости населения и региональной связности или инновационного или экономического развития.

Рисунок 1.1: Категории издержек, составляющих полные затраты на производство электроэнергии



Источник: АЯЭ, 2012b.

Полные издержки на производство электроэнергии представляют собой совокупность всех трёх категорий: издержки на генерацию электроэнергии на уровне электростанции, системные издержки на уровне сети, а также внешние социальные издержки и издержки, связанные с охраной окружающей среды (см. рис. 1.1). Фактически, оценка полных издержек на производство электроэнергии должна охватывать три данные категории на протяжении всего жизненного цикла электроэнергии, т. е., начиная с добычи и переработки топлива, строительства объекта, эксплуатации, генерации, передачи и распределения до вывода из эксплуатации и утилизации отходов. Разумеется, из практических соображений, при оценке полных издержек не учитываются абсолютно все затраты, вместо этого основное внимание уделяется наиболее важным категориям.

Как показано на рис. 1.1, издержки на производство электроэнергии могут быть разделены на издержки на уровне электростанции, системные издержки на уровне сети и внешние или социальные издержки¹. Если не предпринимать попыток решения проблемы внешних издержек на политическом уровне, такие затраты могут достичь неразумно высокого уровня и лечь на плечи системы или общества в целом, а не тех, в результате чьих действий они возникли.

Следует обратить внимание на особенности этих трёх категорий в той мере, в какой различные включенные в них явления, разнятся по степени стабильности экономической и финансовой оценки. Издержки на уровне электростанции – это, в первую очередь, те издержки, которые сами собой приходят на ум, когда речь идёт о производстве электроэнергии. Бетонные и стальные конструкции для строительства электростанции, топливо и рабочая сила, необходимая для ее эксплуатации – вполне понятные статьи затрат. Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) и Международное энергетическое агентство (МЭА) каждые пять лет публикуют результаты исследований по издержкам на уровне электростанций в странах ОЭСР в серии «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» (см. выпуски МЭА/АЯЭ 2010 г. и 2015 г.; выпуск МЭА/АЯЭ 2020 г. готовится к публикации). Несмотря на то, что при проведении конкретных исследований был обнаружен ряд факторов, препятствующих оценке издержек на уровне электростанции, например, уровень ставки дисконтирования для отражения стоимости капитала, по меньшей мере было достигнуто чёткое понимание базовых понятий. Издержки на производство электроэнергии на уровне электростанции – финансово-экономические реалии в непосредственном денежном выражении, учитываемые при принятии решений частными и государственными лицами.

Ситуация слегка осложняется в случае с издержками на уровне сети. В объединённой энергосистеме каждая электростанция взаимодействует с другими электростанциями, как на физическом, так и на экономическом уровне. Кроме того, разные электростанции предполагают разные издержки в зависимости от системы подключения или системы распределения и передачи. Несмотря на то, что такие издержки на уровне сети существовали всегда, всеобщее внимание они начали привлекать только в последние годы в связи с интеграцией значительного количества возобновляемых источников энергии, работающих в переменном режиме (ПВИЭ). Последние отличаются тремя важными характеристиками, что объясняет их более высокий, по сравнению с другими технологиями, уровень издержек на уровне сети. Во-первых, это зависимость от расположения в местах с благоприятствующими метеорологическими условиями, в частности, ветряные электростанции могут находиться вдали от городских и промышленных центров нагрузки, что повышает издержки на передачу электроэнергии. Во-вторых, ограниченность возможностей прогнозирования выработки таких источников требует большего количества мощностей на управляемых электростанциях для резервирования, т. е. большего количества элементов, которые будут работать не на полной мощности для того, чтобы реагировать на внезапные изменения спроса и предложения. В-третьих, их переменчивость подразумевает необходимость поддержания остаточной системы генерации для обеспечения надёжности электроснабжения в часы низкого уровня генерации электроэнергии на основе ПВИЭ. Таким образом, технологии, предусматривающие возможность диспетчерского управления (атомные электростанции, гидроэлектростанции, газовые и угольные электростанции), вынуждены оставаться на рынке, сокращая количество часов работы, что приводит к сокращению доходов. При отсутствии дополнительных источников дохода, таких, как плата за мощность, управляемые технологии могут покинуть рынок, что понизит надёжность электроснабжения.

1. В целях удобочитаемости и во избежание использования специфической экономической терминологии в настоящем отчёте понятие «социальные издержки» используется в качестве синонима понятия «внешние издержки». Строго говоря, последнее соответствует понятию предельных социальных издержек, при этом понятие «совокупные социальные издержки» будет означать сумму частных, рыночных и внешних издержек. Понятие совокупных социальных издержек идентично понятию полных издержек. То же применимо в отношении системных издержек на уровне сети. Если не оговорено иное, «системные издержки на уровне сети» означают издержки, превышающие издержки на уровне электростанции. В свою очередь, понятие «совокупные системные издержки» следует понимать как сумму издержек на уровне электростанции и системных издержек на уровне сети.

В сущности, системные издержки на уровне сети – это реальные экономические затраты, непосредственно отражаемые в бухгалтерских балансах предприятий и системных операторов или в ежемесячных счетах потребителей электроэнергии. Строго говоря, они могут быть определены как совокупные издержки, превышающие издержки на уровне электростанции, на электроснабжение при определённой нагрузке и определённом уровне надёжности электроснабжения. Несмотря на то, что системные издержки на уровне сети существовали всегда, их важность существенно возросла только с началом применения значительного количества переменчивых возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия. Это послужило толчком к проведению большого количества исследований и оживленных дискуссий, посвящённых их особенностям и степени использования. Часто бывает сложно точно выделить системные издержки, так как они взаимосвязаны практически со всеми параметрами энергосистемы. Например, связано ли падение стоимости акций электростанции традиционного типа генерации вследствие неэффективного управления, ошибок в прогнозировании спроса на электроэнергию или же с системными эффектами, вызванными появлением огромного количества децентрализованных ветряных и солнечных электростанций? Также следует учитывать сложные вопросы распределения, которые начинают выявляться только сейчас. Например, следует ли закрепить повышенные издержки на подключение, распределение и передачу за предприятиями прямо или косвенно ответственными за них, или же возложить эти издержки на население путём установления потребительских сетевых тарифов независимо от происхождения таких затрат? По всем указанным причинам системные издержки на уровне сети и, в частности, влияние изменчивости ПВИЭ, несмотря на всю их значимость для заинтересованных лиц, как правило, оценивать сложнее, чем издержки на уровне электростанции.

Третья категория издержек в составе полных издержек на производство электроэнергии достаточно чётко определяется теоретически, но на практике хуже всего поддается точной оценке. Речь идёт о внешних или социальных издержках, отражающих последствия выбора той или иной технологии производства электроэнергии для окружающей среды, надёжности электроснабжения и других социальных аспектов. Такие социальные издержки имеют две характеристики, на первый взгляд позволяющие их отличить друг от друга, но которые фактически представляют собой две стороны одной медали, если рассматривать их со структурной и методологической точки зрения или с точки зрения выработки политики. Социальные издержки возникают в ситуациях слишком сложных, ранее не имевших место или в высшей степени неопределённых по своей природе, когда их невозможно выразить в денежном эквиваленте для проведения рыночных сделок. В экономике было создано понятие «транзакционных издержек», включающих в себя издержки на создание, кодификацию и передачу информации, как обобщающий термин для всех факторов, препятствующих принятию решений об оптимальном уровне товара, скажем, об уровне надёжности снабжения, посредством механизма ценообразования, определяемого спросом и предложением. Другими словами, без альтернативных форм вмешательства, таких как политические или законодательные решения, подобные внешние воздействия не будут учитываться производителями и потребителями, что приведёт к занижению влияния положительных внешних эффектов и завышению влияния отрицательных внешних эффектов (подробнее см. в разделе 1.3).

Социальные издержки подчёркивают различие между формой благосостояния, традиционно выражаемой в денежных единицах, и более широкой формой, включающей некую предварительную форму немонетизируемых воздействий. Валовой внутренний продукт (ВВП) – классический показатель измерения стоимости товаров и услуг, производимых и потребляемых частными и государственными секторами в денежном эквиваленте. Как правило, издержки на уровне электростанции включаются в ВВП. Издержки на уровне сети также, в конечном итоге, отражаются в ВВП, несмотря на то, что их несут не те лица, в результате чьих действий они возникли. Такие социальные издержки, как ущерб, причиняемый в результате воздействия на окружающую среду, не отражаются в ВВП, так как они сказываются скорее на благах общественного потребления, чем индивидуального. Употребление понятия благосостояния в исследованиях о полных издержках на производство электроэнергии влечет за собой употребление понятия благополучия, включающего денежный эквивалент ВВП, но выходящего далеко за его пределы. Совершенно очевидно, что такое более широкое понятие благосостояния, охватывающее блага общественного потребления, не позволяет чётко определить функции индивидуальной и общественной полезности. Если определение функции полезности товаров уже само по себе занятие непростое, то определение функции общественного благосостояния в контексте расширенного понятия благосостояния затрудняется сложной природой внешних издержек.

Вопрос может быть предметом интересных концептуальных дискуссий, которые, однако, в конечном итоге на практике имеют мало значения. Социальные издержки в значительной степени являются внешними, т. е. не учтёнными, в частности по причине отсутствия чётко определённых функций полезности. В то же время, стандартная экологическая экономика, получившая начало в трудах Пигу (1932), требует идентификации, измерения и интернализации социальных издержек, а также считает

полезным определением функций полезности для социальных издержек. В ходе обсуждения вопроса быстро становится ясно, что любая структура, основанная исключительно на статической оптимизации, столкнется с внутренними противоречиями. К исследованию социальных издержек необходим динамический подход, при котором политики в процессе постоянного изучения последствий социальных издержек переходят от больших недостатков к меньшим. Процесс также предусматривает прагматический подход к принятию решений, основанных на совокупности информации, частично вырабатываемой исходя из рыночных цен и частично получаемой с помощью альтернативных методов, применяемых для выявления социальных издержек (см. ниже).

Помимо своей сложности, явления, приводящие к возникновению общественных издержек или выгод, характеризуются односторонностью. Классический, технический внешний эффект возникает, если действия одной стороны, например, электростанции, производящей выбросы загрязняющих веществ, оказывают влияние на благополучие другой стороны, не имеющей возможности выразить свою реакцию на загрязнение первой стороне. Данное отсутствие взаимодействия или обратной связи является определяющим критерием внешнего эффекта. В очередной раз транзакционные издержки препятствуют существованию такой обратной связи, и необходимо вмешательство третьей стороны, например, правительства, для обеспечения интернализации эффекта. Особенно это касается внешних эффектов, воздействующих на большое количество людей или исходящих от большого количества источников, например, загрязнение воздуха или изменение климата. В таких случаях решение вопроса на централизованном уровне является более эффективным, чем многосторонние переговоры между всеми заинтересованными лицами. При этом участники рынков, на которых товары или услуги получили свое полное определение, посредством механизмов ценообразования добиваются именно таких многосторонних переговоров для достижения оптимальных результатов при очень низких транзакционных издержках. Таким образом, разделение труда между органами государственного управления и рынками представляет собой основной вопрос интернализации внешних эффектов.

Выходя за рамки хорошо известного и широко обсуждаемого понятия внешних экологических последствий экономической деятельности, в частности в той мере, в которой они связаны с загрязнением воздуха и изменением климата из-за выбросов парниковых газов, внешние эффекты и социальные издержки могут воздействовать на другие области. Данные области могут быть различными, такими как воздействия определённого вида генерации электроэнергии на надёжность энергоснабжения и стратегическую позицию государства, издержки на утилизацию отходов или издержки от несчастных случаев на производстве (в той мере, в которой они не включены в цены конечного потребления), польза от фундаментальных и прикладных исследований для различных технологий или даже возможное влияние побочных эффектов совершенствования указанных технологий на экономическое развитие, конкурентоспособность промышленности или торговый баланс. В данном исследовании, во всех главах о надёжности электроснабжения, занятости и экономики посредством динамических побочных технологических эффектов рассматривается воздействие производства электроэнергии на различные общественные блага на уровне экономики. Данные воздействия не учитываются в процессе принятия решений частными экономическими субъектами. Таким образом, политические и регулирующие органы должны ввести дополнительные стимулы для максимального улучшения всеобщего благосостояния. Именно поэтому данные полномасштабные внешние эффекты являются частью полных издержек на производство электроэнергии.

Однако, даже исследование полной стоимости производства электроэнергии не сможет охватить все аспекты, связанные с электроэнергией. Иными словами, даже самая объёмная категория внешних и социальных издержек будет ограниченной. Кроме того, они рассматриваются в настоящем исследовании с точки зрения прагматического подхода частичного равновесия. Таким образом, внешние эффекты производства электроэнергии, касающиеся различных политических аспектов, такие как системные издержки на уровне сети, издержки, связанные с загрязнением воздуха или изменением климата, рассматриваются отдельно. Кроме того, главы, в которых рассматриваются полномасштабные воздействия, по существу, основываются на подходе частичного равновесия. Альтернативный вариант комбинированного рассмотрения всех воздействий или их подгрупп с помощью вычислимых моделей общего равновесия, полномасштабных моделей «затраты-выпуск» или макроэконометрической модели привел бы к нарушению прозрачности и удобочитаемости результатов, которые в первую очередь предназначены для политиков.²

2. Для информации об использовании комплексных макромоделей в климатической и энергетической политике см. Поллитт и Меркюр (*Pollitt and Mercure, 2015*), Берг и др. (*Berg et al., 2015*) или Джексон и др. (*Jackson et al., 2015*).

Данное исследование основывается на аналогичном прагматическом подходе к вопросам, связанным с конкуренцией и регулированием на рынках электрической энергии. Социальные издержки — это внешние издержки, налагаемые на общество за МВт·ч электроэнергии. Таким образом, они могут возникать на рынках электрической энергии любого типа, независимо от того, регулируются ли они тарифами или же либерализованы с помощью ценообразования на основе предельно высоких затрат, и независимо от существования или отсутствия монопольной власти. По организационным соображениям, в некоторых случаях регулируемые рынки могут иметь преимущество с точки зрения возможности *косвенной* интернализации социальных издержек при принятии решений по разработке тарифов, в то время как нерегулируемые рынки должны прибегать к *прямому* ценообразованию для внешних эффектов. С точки зрения политики, последний вариант может в некоторых случаях вызывать трудности; однако, основная проблема идентификации, измерения и интернализации внешних издержек в равной степени существует на регулируемых и нерегулируемых рынках.

Вопрос учёта полных затрат на основе определения внешних издержек вызывает противоречия. Монетизация социальных издержек вне поля действия рынка может быть неправильно истолкована как фанатическая попытка свести благополучие населения к вопросу о долларах и центах. Большой уровень неопределённости, который может привести к результатам, существенно изменяющимся со временем или при сравнении сопоставимых проектов, также представляет собой лёгкую мишень для критиков. Было высказано мнение, что социальные факторы являются одним из последствий, которые останутся за рамками даже самых всеобъемлющих работ.

Большая часть подобной критики основана на неправильном понимании цели, преследуемой учётом полных затрат. Полученная оценка доли социальных издержек в сумме полных затрат на производство электроэнергии никогда не сможет заменить более достоверную информацию об индивидуальных и общественных предпочтениях, отражаемую рыночными ценами. Цель учёта полных затрат заключается в определении порядка величины, что позволит конструктивным образом включить в повестку дня общественной и политической дискуссии самые неотложные вопросы и неизбежно приведёт к достижению компромиссных решений, свойственных процессу разработки политики. При этом в процессе учёта полных затрат неизбежно будут смешаны точные рыночные данные, оценки, заслуживающие разумного уровня доверия, и менее надёжные оценки. Последние лучше всего рассматривать как рациональные и обоснованные предположения, даже если они сделаны благонамеренными и опытными специалистами.

В отчётах, подобных настоящему, определённый уровень социальных издержек, как например, связанных с загрязнением воздуха или последствиями крупной аварии, также неизменно ассоциируется с соответствующей технологией. Совершенно очевидно, что наличие или отсутствие специального оборудования для мониторинга загрязнения или каких-либо физических преград может уменьшить или увеличить уровень воздействия. В таких случаях необходимо опираться на здравый смысл для выбора эталонной технологии, которую следует использовать. Это одна из причин, объясняющих почему настоящий отчёт организован по тематическому принципу, а не по технологиям. Цель отчёта заключается не в установлении рейтингов, а в привлечении внимания к недостаточно изученным вопросам, интернализация которых должна быть улучшена в процессе разработки политики.

Означает ли это, что наличие хоть каких-то цифр не лучше их отсутствия, как иногда предполагается? Определённо нет. Однако, для выработки политики наличие цифр, предложенных компетентным исследователем на основании наилучшей доступной информации, наряду с указанием соответствующих источников, неопределённостей и оговорок, безусловно, будет лучше, чем их отсутствие, несмотря на все неопределённости и оговорки. Цель учёта полных затрат не заключается в том, чтобы пойти по пути экономического империализма, равно как и не в создании бесполезных противоречий между рыночными ценами и социальными издержками. Его единственная цель заключается в улучшении разработки политики в энергетическом секторе.

Анализ полных затрат в энергетическом секторе. Роль Агентства по ядерной энергии

Исторически сложилось так, что вопросы, связанные с производством энергии и, в частности, электроэнергии, часто вызывали наибольшую озабоченность в отношении внешних издержек. Как крупный и в большинстве случаев централизованный вид деятельности, результат которой крайне важен для благосостояния населения, промышленного развития и экономического роста, производство электроэнергии также является самым изученным сектором в этом отношении. От кислотных дождей и разливов нефти из танкеров, до угрозы раковых заболеваний, связанных с работой линий электропередачи, заболеваний дыхательных путей из-за производства электроэнергии, вырабатываемой угольной электростанцией, перебоев с поставкой газа и страха ядерных аварий - на всём протяжении энергетического цикла

энергетический сектор сталкивается с воздействиями, которые он никогда не намеревался создать, и в которых он, тем не менее, всё чаще обвиняется.

Электроэнергетический сектор всегда играл особо важную роль в области энергетики в связи с опасениями в отношении загрязнения воздуха и изменения климата, обусловленных сгоранием ископаемого топлива во время выработки электроэнергии. Риски, связанные с ядерными авариями и захоронением отработавшего ядерного топлива, всегда принимали угрожающие пропорции в представлении общественности. Традиционно опасения по поводу социальных издержек фокусируются на производстве электроэнергии на уровне электростанции. Однако, в последние годы появление значительного количества мощностей, использующих ветровую и фотоэлектрическую солнечную энергию, по причинам, объяснённым выше, обусловило смещение внимания с уровня электростанции на уровень энергосистемы. Именно смещение внимания во всём энергетическом секторе объясняет то, что сегодня усилия направлены на обеспечение важного для политики синтеза данных о полных затратах на производство электроэнергии на уровне потребителя, а не только на уровне затрат на производство электроэнергии на уровне отдельной электростанции.

Вставка 1.1: **Внешние эффекты, связанные с энергией, и отсутствие механизмов обратной связи**

Представьте себе упрощённый пример угольной электростанции. Её входной ресурс (уголь) и товарная продукция (электроэнергия) оплачиваются в денежных единицах. Покупатели и продавцы, производители и потребители - все они оказывают влияние на процесс посредством рыночного механизма. До тех пор, пока рынки работают в условиях конкуренции, количество произведённой продукции и цена, уплачиваемая за неё, будут находиться на оптимальном уровне. Это наблюдение неприменимо к результатам производства, которые не учитываются в денежных единицах. Твёрдые частицы, двуокись серы, окись углерода, окислы азота и, в частности, большое количество двуокиси углерода воздействуют на благополучие отдельно взятых лиц и групп населения по причине снижения качества воздуха, кислотных дождей, ухудшения здоровья, сокращения продолжительности жизни и увеличения климатических рисков. Однако, эти отдельно взятые лица или группы населения практически не могут эффективно выразить своё недовольство, чтобы создать давление для уменьшения таких воздействий путём технических изменений (использования очистителей, фильтров, систем улавливания, более высоких термических коэффициентов полезного действия и т.д.) или снижения производительности (производство меньшего количества электроэнергии на угольных электростанциях). Таким образом, источник выбросов, угольная электростанция, продолжает производство на полной мощности и без какого-либо снижения выбросов. Отсутствие механизма обратной связи является определяющей особенностью внешнего эффекта, приводящего не к частным, регулируемым рынком, издержкам, а к общественным издержкам. Рынки товаров индивидуального потребления устанавливают двусторонние связи, позволяющие обеспечить оптимальные условия для компромиссов. Если отдельно взятому лицу требуется меньшее количество электроэнергии, он или она перестанут её покупать. Если это же отдельно взятое лицо пожелает снизить объём выбросов твёрдых частиц, нет никакой возможности сделать так, чтобы данное пожелание было услышано. Согласно известному высказыванию Кеннета Эрроу (1970): «внешние эффекты — это товары, для которых не существует рынка».

Экономическая теория предлагает инструменты, которые устанавливают механизмы обратной связи путём создания рынков или их замещения. Такие альтернативные экономические меры, как например, налоги, субсидии или стандарты позволяют *интернализацию* рассматриваемого внешнего эффекта и обеспечивают уровень загрязнения, компенсирующий воздействие на экономику и здоровье населения. Такие механизмы обратной связи не обязательно должны вводиться в силу посредством прямого вмешательства правительства. Например, предписание руководителям высшего звена проживать в радиусе 5 км от электростанции могло бы быть эффективным средством интернализации. В частности, Рональд Коуз (1960) заложил основы, позволяющие использовать творческий подход к интернализации. В любом случае основной принцип заключается в том, что лица, определяющие уровень загрязнения или рисков, должны прямо или косвенно подвергаться их воздействиям. Таким образом, они начнут включать вредные или нежелательные побочные эффекты в полные затраты на производство и снабжение электроэнергией, энергией и любыми другими товарами, имеющими легкий сбыт.

В течение ряда лет АЯЭ ведет работу по анализу и исследованию различных аспектов полных затрат на производство электроэнергии. Результатами этой работы является их освещение в ряде уже выпущенных или будущих публикаций. Определённое количество публикаций сконцентрировано на атомной энергии, однако другие издания посвящены разным видам производства энергии. Среди них:

- «Риски и преимущества атомной энергии» (*Risks and Benefits of Nuclear Energy, 2007*).
- «Сопоставление рисков ядерных аварий с рисками от других источников энергии» (*Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources, 2010a*).

- «Надёжность энергоснабжения и вклад атомной энергии» (*The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy, 2010b*).
- «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии: обновленная информация за 2010 год» (*Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Update*), (МЭА/АЯЭ, 2010).
- «Экономические аспекты долгосрочной эксплуатации атомных электростанций» (*Economics of Long-term Operations of Nuclear Power Plants, 2012a*).
- «Атомная энергия и возобновляемые источники энергии. Системные эффекты в низкоуглеродных энергосистемах» (*Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems, 2012b*).
- «Экономические аспекты завершающей стадии ядерного топливного цикла» (*The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle, 2013*).
- «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии: обновленная информация за 2015 год» (*Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Update*), (МЭА/АЯЭ, 2015).
- «Атомная энергия: борьба с изменением климата» (*Nuclear Energy: Combating Climate Change, 2015*).
- «Затраты на вывод атомных электростанций из эксплуатации» (*Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants, 2016*).

В настоящий момент АЯЭ также работает над рядом публикаций, касающихся обсуждения вопроса полных затрат, которые будут опубликованы в ближайшие месяцы. Среди них: «Климатические изменения: оценка уязвимости атомных электростанций и затраты на адаптацию» (*Climate Change: Assessment of the Vulnerability of Nuclear Power Plants and Adaptation Costs*), «Оценка возможного ущерба от ядерных аварий» (*Estimation of Potential Losses Due to Nuclear Accidents*), «Измерение занятости, обеспечиваемой сектором атомной энергетики» (*Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*) и «Системные издержки в разных вариантах глубокой декарбонизации: вклад атомной энергии и возобновляемых источников энергии» (*System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*).

Также существует большое количество исследований, опубликованных другими учреждениями, в которых приводятся результаты анализа полных затрат на электрическую энергию. Директорат по охране окружающей среды ОЭСР (ДООС) и МЭА ранее работали над внешними издержками (см. подробный список литературы в главе 5). В течение последних 20 лет Европейская комиссия (*ExternE* ЕК до 2005 года, а также Проект исследований внешних эффектов новых видов энергетики в рамках устойчивого развития (*New Energy Externalities Developments for Sustainability, NEEDS*) с 2004 по 2008 года) и Институт Пауля Шеррера (*PSI*, Швейцария) были среди наиболее активных учреждений в области оценки внешних эффектов, а также источников информации и методических знаний. Позже Европейская комиссия заказала исследование по затратам и субсидиям на энергию в Европейском союзе, что даёт определённый дополнительный углубленный взгляд на методологию и данные по 28 европейскими странам (*Ecofys, 2014*). При этом внешние эффекты в энергетике являются далеко не исключительно европейской проблемой. Исследования по этой теме также проводились как в Японии, так и в Соединенных Штатах Америки.

Также имеется обилие научной литературы по внешним издержкам на энергию. Однако такая литература переживала момент наивысшего подъёма в 1990-х годах и с тех пор утратила определённую долю динамичности. К тому же многие из содержащихся в ней выводов имели довольно местное значение или были связаны со специфическими техническими допущениями, что ограничило их актуальность для политики. К исключениям последнего времени относятся исследования Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2016), Директората по охране окружающей среды ОЭСР (2016) и МЭА (2016). Все три организации работают над изучением загрязнения атмосферного воздуха вследствие сгорания ископаемого топлива и концентрируются на глобальных приоритетных показателях, важных для выработки политики. Например, в отчёте ВОЗ указывается: «Загрязнение воздуха представляет собой огромный экологический риск для здоровья. В 2012 году каждая девятая смерть была связана с загрязнением воздуха. В том числе 3 миллиона человек умерли исключительно из-за загрязнения атмосферного (внешнего) воздуха» (ВОЗ, 2016: с. 15).

В отчёте ОЭСР, содержащем результаты перспективного моделирования, оценивается, что к 2060 году от последствий загрязнения атмосферного воздуха может умирать от шести до девяти миллионов человек ежегодно. В отчёте АЯЭ приводятся фактические данные о выбросах при выработке электроэнергии в странах ОЭСР. Несмотря на их ценность, данные работы ограничиваются проблемой загрязнения воздуха. Цель настоящего исследования о «Полных затратах на производство электроэнергии» – в обоснованной, краткой и значимой для принятия политических решений форме обобщить и расширить предпринятые попытки исследований путём включения большинства или всех категорий политически важных социальных издержек, связанных с производством, преобразованием и потреблением энергии.

Настоящее исследование организовано по категориям издержек, а не по источникам энергии. Таким образом, цель заключается не в определении технологии генерации, имеющей наименьший уровень полных издержек. Такое определение во многих случаях зависит от местных и региональных условий, а также от структуры генерирующих мощностей и схем потребительского спроса на электроэнергию. К тому же, субъективные, культурные, общественные и политические факторы неизбежно вступают в действие, как только анализ выходит за рамки затрат, основанных на неоспоримом межличностном консенсусе, образовавшемся в условиях рыночной

конкуренции, и выражающихся в рыночных ценах. Как указывалось выше, рыночных цен для внешних социальных издержек не существует по определению.

Несмотря на указанные очевидные методологические ограничения, при разработке экономической политики необходимо обязательно учитывать воздействия на благополучие населения, выходящие за рамки того, для чего может быть определена рыночная стоимость. Загрязнение воздуха, риски, связанные с климатическими изменениями, и системные издержки являются наиважнейшими вопросами в этом контексте. Цель настоящего отчёта заключается в обеспечении лиц, определяющих политику, информацией по ключевым фактам, касающимся внешних издержек на производство электроэнергии, для самых важных категорий затрат, как в денежном выражении, так и в другой форме.

Следующие разделы начнутся с представления основных концептуальных и методологических вопросов, относящихся к системным издержкам на уровне сети и внешним социальным издержкам. В соответствующие тематические главы также будет включен обзор недавних количественных исследований системных издержек на уровне сети, но специфические методологические вопросы, касающиеся системных издержек, лучше воспринимаются в контексте данной вступительной главы и в противопоставлении с традиционными понятиями внешних издержек. Следовательно, каждой категории издержек будет посвящена отдельная глава и в завершении отчёта будут представлены политически направленные выводы.

1.2. Оценка и интернализация системных затрат на уровне сети ³

Подгруппа затрат, внешних для периметра отдельной электростанции, но все ещё опосредуемых электросетью, относится к системным издержкам на уровне сети. Такие системные издержки отражают тот факт, что электростанции не существуют изолированно, а взаимодействуют друг с другом и со своими потребителями через электросеть. Это значит, что при производстве электроэнергии образуются издержки вне периметра отдельной электростанции или отдельного потребителя, даже если не принимать во внимание воздействия на более широкую природную, экономическую и социальную среду. Такие системные эффекты могут принимать форму колебаний нагрузки, перегрузки или повышенной неустойчивости сети. Учёт таких системных издержек может привести к значительным различиям в частных, рыночных и социальных издержках в разных технологиях выработки электрической энергии.

Такие системные издержки на уровне сети существовали всегда в разукрупнённых системах электроснабжения, но в последние годы эта тема стала привлекать к себе внимание в связи с развёртыванием в странах ОЭСР энергосистем, использующих ПВИЭ, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия. Интеграция ПВИЭ накладывает глубокий отпечаток на структуру, финансирование и систему эксплуатации энергосистем как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Тремя наиболее значимыми факторами влияния являются возросшие издержки на обеспечение остаточной нагрузки, краткосрочное резервирование, а также расширение и усиление сетей электропередачи и распределения. Это обусловливается тремя характеристиками, по большому счету уникальными для ПВИЭ, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия:

1. Их эффективность переменчива. Это значит, что в то время, когда не дует ветер и не светит солнце, необходимо иметь достаточный резерв управляемой диспетчером мощности, которая не требуется в других условиях. Это приводит к сокращению коэффициентов нагрузки управляемых генерирующих мощностей и к переходу на технологии с меньшими капитальными и большими переменными издержками, что увеличивает издержки всей энергосистемы. Этот эффект именуется *издержками на резервирование* или издержками на манёвренность. Как правило, это наиболее затратный системный фактор влияния ПВИЭ.

3. Данный раздел составлен по материалам публикации «Ядерная энергия и возобновляемые источники энергии. Системные издержки в декарбонизированных энергетических системах», АЯЭ, 2012b, (*Nuclear Energy and Renewables: System Costs in Decarbonising Electricity Systems (NEA, 2012b)*).

2. Их эффективность сложно предугадать. Это означает, что для уравнивания спроса и предложения в любое время система электроснабжения должна обеспечивать большой вращающийся резерв, также именуемый горячим. Данный резерв состоит из генераторов, работающих при неполной нагрузке или находящихся в дежурном режиме для обеспечения манёвренности электростанции, но не подающих электроэнергию в сеть.
3. Ветряные и солнечные электростанции строятся там, где дует ветер (например, в открытом море или на побережье) и светит солнце, а не там, где располагаются центры потребления. Это повышает требования к системе электропередачи. Для распределяемых ресурсов, таких как фотоэлектрическая солнечная энергия, также требуются более прочные и дорогие системы распределения.

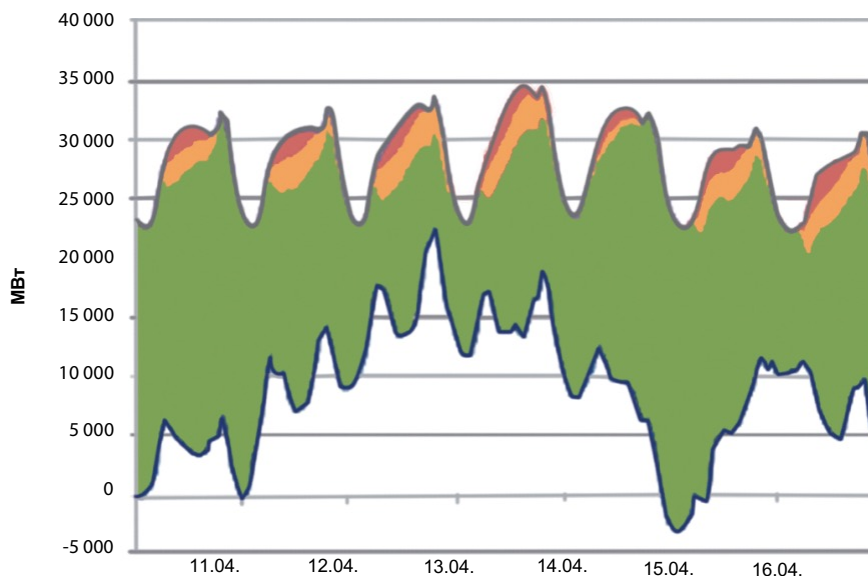
Величина всех системных эффектов зависит главным образом от местных условий, издержек на существующую сеть, а также от всей структуры вырабатываемой электроэнергии и спроса на электроэнергию. Тем не менее, в отличие от системных издержек на уровне сети управляемых энергосистем, системные издержки на уровне сети энергосистем с ПВИЭ, такими как ветровая и солнечная энергия, будут существенно расти с увеличением доли замещения. Этот эффект в сочетании с прогнозируемым увеличением доли ПВИЭ означает, таким образом, вероятность значительного роста системных издержек в ближайшие годы, если не будут найдены новые дешёвые решения по обеспечению гибкости в виде систем хранения или управления спросом. Например, в «Прогнозе мировой энергетики на 2016 год» (*World Energy Outlook 2016*) (ПМЭ), опубликованном МЭА, в основном «Сценарии новой политики» в странах ОЭСР ожидается рост доли ветровой энергии в производстве электроэнергии с 4 % в 2014 году до 14 % в 2040 году. Доля фотоэлектрической солнечной энергии может увеличиться с 1 % в 2014 году до 6 % в 2040 году. Для ограничения роста средней температуры на 2°C в сценарии ПМЭ прогнозируется рост доли ветровой и фотоэлектрической солнечной энергии в производстве электроэнергии до 23 и 9 % соответственно (сценарий 450 ppm).

Важнейший фактор влияния на системные издержки связан с переменчивостью ветровой и фотоэлектрической солнечной энергии, что приводит к значительным изменениям традиционной структуры генерирующих мощностей с увеличением требуемой общей мощности, а также переходом от базовых электростанций к более дорогостоящим пиковым и полупиковым электростанциям. В то время как диверсификация ВИЭ, объединение энергосистем одного региона с энергосистемами прилегающих регионов, управление хранением и спросом могут внести свой вклад в снижение переменчивости, наиболее экономичным решением для производства электроэнергии (по крайней мере в среднесрочной перспективе) остаётся использование мощностей генерации, предусматривающих возможность диспетчерского управления, т. е., ядерных, угольных, газовых электростанций, гидроэлектростанций и электростанций, работающих на биомассе.

На рис. 1.2 представлено влияние изменчивости ПВИЭ на остаточную нагрузку и, следовательно, на управляемые электростанции. В работе GE Energy по моделированию для Министерства энергетики США иллюстрируется влияние 35% доли возобновляемой энергии (ветровая энергия выделена зелёным цветом, концентрированная солнечная энергия – оранжевым, а фотоэлектрическая – красным) в зоне WestConnect, расположенной на территории западных штатов США, включающей штаты Аризона, Вайоминг, Колорадо, Невада и Нью-Мексико. За неделю имитации в наиболее переменчивых метеорологических условиях за последние три года чистый спрос на мощности управляемых электростанций (синяя линия над белой областью) колебался от -3 до более чем 20 ГВт, в то время как общий спрос (верхняя линия на графике) изменялся от 22 до 35 ГВт. Колебания чистого спроса явно сильнее и менее предсказуемы, чем колебания общего спроса.

Таким образом, выработка электроэнергии на основе ПВИЭ оказывает значительное влияние на экономику технологий выработки электроэнергии, предусматривающих возможность диспетчерского управления. В краткосрочной перспективе без изменений существующей структуры генерирующих мощностей технологиям, предусматривающим возможность диспетчерского управления, таким как ядерная, угольная, газовая энергетика или гидроэнергетика, придется справляться с более низкими средними ценами на электроэнергию и пониженными коэффициентами нагрузки. Благодаря относительно невысоким переменным издержкам, существующие атомные электростанции в основном окажутся в лучшем положении, чем газовые и угольные электростанции. Однако в долгосрочной перспективе на технологии с высокими постоянными издержками, такие как атомная энергетика, будут непропорционально влиять возрастающие трудности финансирования дальнейших инвестиций в условиях изменчивой низкоценовой конъюнктуры. Точный результат этих конкурирующих факторов будет зависеть от объёма задействуемых ПВИЭ, уровня цен на единицу сокращения выбросов, а также от местных условий, таких как наличие гидроэлектрических ресурсов, энергообъединений или систем хранения.

Рисунок 1.2: **Пример влияния генерации на основе ПВИЭ на остаточную нагрузку производителей, использующих управляемую технологию**



Примечание. На рисунке приведена кривая общей нагрузки в МВт (верхняя синяя линия), включающая вклад фотоэлектрической солнечной энергии (красная зона), концентрированной солнечной энергии (КСЭ, оранжевая зона) и ветровой энергии (зелёная зона). Нижней синей линией изображена остаточная нагрузка, которую традиционным производителям электроэнергии необходимо обеспечить (белая зона).

Источник: USDOE/NREL and GE Energy, 2010.

Все технологии производства электроэнергии вызывают системные воздействия. Благодаря тому, что они подключены к одной и той же физически существующей сети и работают на одном и том же рынке, они оказывают влияние друг на друга, а также на нагрузку, доступную для удовлетворения спроса в любой момент времени. Взаимозависимость усиливается из-за того, что в настоящее время экономически выгодное хранение электроэнергии ограничено небольшими объёмами. Например, влияние системы атомной энергии связано с большими размерами электростанций, конкретными требованиями к выбору местоположения, а также с условиями, которые создаются для затрат и технических характеристик окружающей сети. Согласно критерию N-1, сравнительно большой размер атомных электростанций требует увеличения количества имеющихся резервов для компенсации риска падения частоты в случае отключения атомной электростанции. Данные системные издержки в атомной энергетике являются реальными и, по оценкам, находятся в диапазоне от 2 до 3 долларов США за МВт·ч, что немного выше системных издержек других управляемых технологий. Однако, переменчивые ВИЭ, такие как ветровая и солнечная энергия, создают системные издержки, которые, согласно результатам, представленным в главе 3, по крайней мере на порядок выше, чем те, которые вызваны управляемыми технологиями.

Системные издержки на уровне сети, обусловленные ограниченной предсказуемостью, переменчивостью и пространственным рассредоточением ПВИЭ, уже сегодня представляют собой значительные денежные затраты для различных субъектов экономической деятельности. Они возникают в форме текущих издержек или будущих обязательств производителей, потребителей, налогоплательщиков или операторов распределительной сети. С системными издержками на уровне сети, но не идентичного типа, связаны финансовые и динамические эффекты ПВИЭ. Их трудно выразить в стандартных экономических терминах, поскольку они не являются внешними эффектами в традиционном смысле слова и на текущем этапе исследований существуют трудности с определением уровня их влияния. Однако они вполне могут представлять собой воздействия, наиболее остро ощущаемые производителями электроэнергии, и в долгосрочной перспективе могут оказать наиболее глубокое влияние на деятельность и структуру рынков электроэнергии. Четыре основных воздействия, входящих в данную категорию:

- более низкие и более изменчивые цены на электроэнергию на оптовых рынках из-за распространения ПВИЭ с низкими предельными издержками;
- снижение коэффициентов нагрузки на мощностях, управляемых диспетчером (эффект сжатия), из-за приоритетности ВИЭ с низкими предельными издержками на рынках электроэнергии

по сравнению с традиционными видами электроэнергии по причине мер регулирования или более благоприятных предельных издержек;

- в) де-оптимизация структуры генерирующих мощностей в сочетании с распространением ПВИЭ с нерыночным финансированием создаёт дистанцию между издержками на производство электроэнергии и рыночными ценами, что препятствует долгосрочным инвестициям на основе рыночных цен;
- г) автокорреляция производства электроэнергии на основе ПВИЭ в течение сравнительно небольшого количества часов в сочетании с нерыночным финансированием ещё больше искажает экономические стимулы, так как всё меньше и меньше стоимости создаётся за каждый дополнительный мегаватт, полученный из ПВИЭ.

Влияние на цены и прибыльность может быть очень значительным. В табл. 1.1 приводится первое указание потерь коэффициентов нагрузки. Это показывает, что в краткосрочной перспективе сильнее всего почувствуют на себе это влияние технологии с наивысшими переменными издержками, которые тяжело страдают от неизбежного снижения цен на электроэнергию из-за притока 10 % или 30 % электроэнергии с нулевыми предельными издержками, что будет подталкивать вправо кривую предложения. В долгосрочной перспективе (не включённой в табл. 1.1) ситуация изменится, поскольку технологии с высокими постоянными издержками уйдут с рынка из-за сокращения количества часов полной нагрузки. Несмотря на то, что средние цены на электроэнергию будут оставаться стабильными, поскольку поставщики электроэнергии с базовых электростанций с низкими переменными издержками уйдут с рынка, их изменчивость сильно возрастёт.

Таблица 1.1: Потери операторов управляемых технологий из-за притока ветровой и солнечной энергии

		Уровень замещения 10 %		Уровень замещения 30%	
		Ветровая энергия	Солнечная энергия	Ветровая энергия	Солнечная энергия
Потери нагрузки	Газовая турбина (ГТОЦ)	-54 %	-40 %	-87 %	-51 %
	Газовая турбина (ГТКЦ)	-34 %	-26 %	-71 %	-43 %
	Уголь	-27 %	-28 %	-62 %	-44 %
	Атомная энергетика	-4 %	-5 %	-20 %	-23 %
Потеря прибыльности	Газовая турбина (ГТОЦ)	-54 %	-40 %	-87 %	-51 %
	Газовая турбина (ГТКЦ)	-42 %	-31 %	-79 %	-46 %
	Уголь	-35 %	-30 %	-69 %	-46 %
	Атомная энергетика	-24 %	-23 %	-55 %	-39 %
Изменение цен на электроэнергию		-14 %	-13 %	-33 %	-23 %

Источник: АЯЭ, 2012b.

Переменчивость ветровой и солнечной энергии также требует от поставщиков управляемых типов генерации (ядерной, угольной, газовой, гидроэлектрической или генерации на биомассе) изменения существенного объёма своей нагрузки в короткие сроки. Таким образом, способность следить за нагрузкой становится всё более важным критерием выбора между различными технологиями резервирования, в частности управляемых диспетчером низкоуглеродных технологий. Большинство электростанций предпочитают работать на стабильных уровнях, близких к полной мощности, и поставлять электроэнергию базовой генерации. Это не только самый простой режим работы, но и наиболее экономически выгодный в условиях, когда цены стабильны и покрывают средние издержки. Таким образом, именно такой режим работы является предпочтительным в большинстве стран ОЭСР. ПВИЭ заставляют производителей управляемой мощности переходить на менее прибыльный и технически более требовательный способ производства с многочисленными резкими скачками вверх и вниз в течение года.

Системные издержки на уровне сети, по крайней мере на уровне, который делает их политически значимыми, являются относительно новым явлением. Исследования всё ещё продолжаются. Таким образом, текущие результаты и даже методологии, вероятно, будут совершенствоваться в будущем.

Всегда ли системные эффекты на уровне сети представляют собой экономические внешние эффекты, связанные с благосостоянием?

Системные издержки на уровне сети сегодня представляют собой реальные денежные затраты. В настоящее время в качестве текущих и будущих обязательств их несут производители существующих генерирующих активов, налогоплательщики и потребители электроэнергии. Некоторые из этих издержек увеличивают общие издержки электроэнергетической системы и, таким образом, представляют собой неучтённые социальные или внешние издержки в том смысле, о котором речь шла выше. Однако, некоторые системные эффекты соответствуют перераспределению денежных трансфертных платежей между различными компонентами систем электроснабжения. Например, снижение цен на электроэнергию, вызванное производством ветровой и солнечной энергии с низкими переменными издержками, подразумевает затраты для производителей, особенно для производителей электроэнергии с традиционными активами с диспетчерским управлением. В то же время такое снижение является выгодным для потребителя.

С точки зрения общего экономического благосостояния, переход на чистые виды энергии, финансируемый акционерами действующих энергообъектов компаний, является проблемой только в том случае, если такая перестройка ведёт к неэффективности и неоптимальным экономическим результатам на общем уровне. В целом вывод активов, управляемых диспетчером, которые больше не являются прибыльными из-за генерации на основе ПВИЭ, пользующейся нерыночным финансированием, вряд ли представляет собой социально оптимальный результат. Однако сторонники такой политики утверждают, что в очень долгосрочной перспективе динамические эффекты, особенно снижение затрат на ветрогенераторы и солнечные панели, перевесят любые опасения по поводу издержек регулирования в краткосрочной перспективе.

Такие распределительные соображения ещё более необходимы во времена быстротекущих динамических изменений, когда события могут рассматриваться по-разному в зависимости от точки зрения. Финансовый упадок традиционных энергообъектов из-за притока нерыночно финансируемых ПВИЭ является тому примером. Такое обширное новое явление допускает различные толкования. С одной стороны, внезапное обесценивание стоимости существующих активов из-за политического решения о введении субсидируемых систем с ПВИЭ может рассматриваться как форма экспроприации. С другой стороны, тот же процесс можно считать долгожданным проявлением необходимого «творческого разрушения» на пути перехода к новым энергетическим системам, основанным на широком применении ПВИЭ. Таким образом, реальное перераспределение доходов и материальных благ от обычных производителей, чьи доходы основаны исключительно на рыночных ценах, с одной стороны, к потребителям, а также производителям, чьи активы получают выгоду от нерыночного финансирования в форме зелёных тарифов (ЗТ), может интерпретироваться очень разными образами в зависимости от применяемой наблюдателем нормативно-правовой базы.

Для лучшего понимания проблемы, экономисты, идущие по стопам Скитовски (1954), ввели различие между реальными (технологическими) и финансовыми внешними эффектами. Реальные внешние эффекты – это классические внешние или социальные издержки, уже определённые Пигу (1932), которые, если не проводить их интернализацию, приведут к неоптимальным результатам для общества в целом. Это, например, случай экологических последствий экономической деятельности, когда загрязнение или уничтожение экосистемы является результатом неспособности потерпевшей стороны изложить своё мнение. Наряду с негативными внешними воздействиями на окружающую среду, наиболее значимыми с экономической точки зрения являются положительные сетевые внешние эффекты. Подключение отдельного потребителя к электростанции было бы слишком дорого. Однако каждый дополнительный клиент в этой области снижает средний уровень издержек для всех участников, поскольку затраты на подключение дополнительного клиента невелики. Физические связи через сеть не только связывают клиентов с конкретным производителем, но также связывают всех производителей друг с другом. Вот почему в системе электроснабжения изменение уровня выработки одной компании сразу же влияет на выработку и рентабельность другой компании.

Помимо электросетей, сетевые внешние эффекты важны в информационно-коммуникационном секторе. Они не обязательно должны быть опосредованы материальной сетью. Выбор конкретной компьютерной программы, шумиха, создаваемая вирусным маркетингом вокруг конкретного продукта, положительные побочные эффекты от затрат компании на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) или «группа» исследователей-единомышленников, подталкивающих друг друга – всё это примеры того, как, благодаря позитивным внешним эффектам, достигается результат больший, чем сумма индивидуальных вкладов каждого. Отрицательные или положительные реальные внешние эффекты приводят к неоптимальным ситуациям из-за слишком высокого или слишком низкого уровня их действия. Когда ПВИЭ увеличивают издержки всей энергосистемы, даже в перспективе длительного равновесия, предусматривающей оптимальное приспособление к ситуации всех участников,

неизбежно появляются такие реальные внешние эффекты или социальные издержки в связи с увеличением издержек на резервирование, удорожанием сетей передачи и распределения и необходимостью более дорогостоящих систем остаточной мощности для круглосуточного обеспечения надёжности электроснабжения.

С точки зрения экономической теории, ПВИЭ должны облагаться налогом за создание избыточных затрат для их экономически оптимального развёртывания. Существует интересный побочный технический аргумент в отношении де-оптимизации систем остаточной мощности. Если бы ПВИЭ должны были получать доходы с рынка, а не от фиксированного вознаграждения, доходы от их использования были бы ниже, чем среднее арифметическое всех цен за 8 760-часовой годичный период. Это связано с тем, что производство электроэнергии на основе ПВИЭ характеризуется автокорреляцией и сконцентрировано на протяжении ограниченного количества часов в год, в течение которых уровень выработки особенно низок, именно из-за высокой доли генерации на основе ПВИЭ. Поскольку этот эффект точно пропорционален изменчивости ПВИЭ, интернализация отрицательного внешнего эффекта де-оптимизации системы будет, по сути, непосредственно произведена через систему ценообразования (см. АЯЭ, 2012а). Однако, поскольку ПВИЭ получают фиксированный ЗТ, который защищает их от данного эффекта, де-оптимизация системы, связанная с чрезмерным использованием ПВИЭ, с точки зрения экономической эффективности, продолжает накладывать не подвергшиеся интернализации социальные издержки или «реальные внешние эффекты» на систему электроснабжения.

Финансовые внешние эффекты бывают разных видов. Несмотря на то, что они могут приводить к крайне нежелательным воздействиям на определённые стороны, например, на традиционные компании энергоснабжения, что может вызвать политические или распределительные проблемы, как таковые, они не являются социальными издержками и не дают основания для государственного вмешательства. Таким образом, их природа отлична от природы технологических внешних эффектов, о которых обычно идёт речь, когда используется понятие внешних эффектов. Это связано с тем, что финансовые внешние эффекты действуют через ценовой механизм, который подразумевает принцип взаимности. Например, выход на рынок нового производителя, поставляющего более дешёвую электроэнергию, приведёт к снижению цен на электроэнергию и прибыли действующих производителей. Таким образом, финансовые внешние эффекты имеют по-настоящему реальное влияние на благосостояние других сторон. Тем не менее, сами по себе они не являются выражением экономической неэффективности, а составляют часть обычных динамических корректировок в рыночной экономике. Как упомянуто выше, механизм ценообразования позволяет пострадавшим сторонам противодействовать и, таким образом, исключает ситуации, в которых отсутствует возможность реагировать на одностороннее воздействие, которое характерно для внешних или социальных издержек. Возвращаясь к примеру, описанному выше, развёртывание эквивалентного количества ПВИЭ в исключительно рыночных условиях приведёт к тому же снижению доходов существующих производителей электроэнергии, но в этом случае речь пойдёт о финансовом внешнем эффекте, а не об экономической неэффективности.

Концептуальной проблемой в насущном вопросе перехода на низкоуглеродные энергосистемы является, конечно же, смешивание технологических и финансовых внешних эффектов. Даже если субсидии на низкоуглеродные технологии для интернализации внешних эффектов, связанных с изменением климата, могут быть обоснованы с экономической точки зрения, их выделение, если оно не обеспечивает достижения намеченных целей по снижению выбросов при наименьших затратах, представляет собой не что иное как растрату социальных ресурсов. Несмотря на то, что субсидии на ПВИЭ распределяются на основе широкого политического и социального консенсуса, это не отменяет факта их неэффективности, а порой даже контрпродуктивности с экономической точки зрения. Даже демократически узаконенная политика может быть экономически затратной.

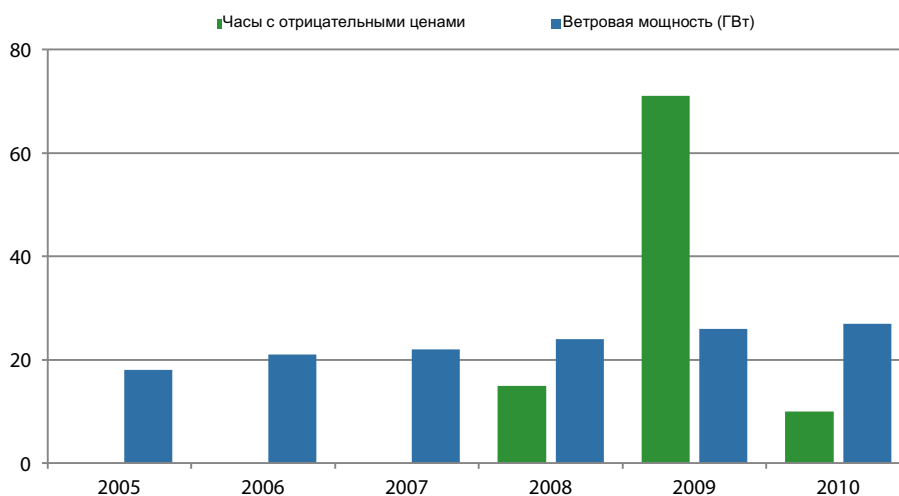
Кроме того, финансовые внешние эффекты могут порождать технологические внешние эффекты, которые при недостаточно быстром реагировании на динамические изменения могут повлечь за собой нежелательные побочные последствия. Упадок традиционных энергосистем, основанных на средствах производства, предусматривающих возможность диспетчерского управления, может снизить уровень надёжности электроснабжения. Разумеется, компенсирующие меры, такие как механизм платы за мощность или долгосрочная поддержка электростанций, предусматривающих возможность диспетчерского управления, особенно низкоуглеродных, таких как гидроэлектростанции или атомные электростанции, способны обеспечить интернализацию любых ранее не существовавших внешних эффектов.

Особенно ярким примером данного взаимодействия технологических и финансовых внешних эффектов служит явление отрицательных цен на электроэнергию, выявленное в нескольких европейских государствах, особенно в Германии, вызванное внедрением большого количества мощностей, работающих на ПВИЭ.

Для демонстрации того, что отрицательные цены приводят к весьма затруднительному положению с коммерческой точки зрения, не требуется разработка экономической теории. Это явление затрагивает, в частности, производителей, работающих на мощностях базовой генерации, таких как атомные

электростанции, которые полагаются на высокие коэффициенты нагрузки и прогнозируемые цены с целью покрытия своих высоких постоянных издержек. На рис. 1.3 изображено появление феномена отрицательных цен, вызванного требованием продажи полного объёма электроэнергии, выработанной ветрогенераторами и фотоэлектрическими солнечными установками, через оптовые рынки в 2009 году. Снижение количества часов с отрицательными ценами в период с 2009 по 2010 год произошло благодаря улучшению метеорологических предсказаний, а также как же выправлению нагрузок, производимого операторами, в том числе операторами атомных электростанций, внедрённому для смягчения влияния на цены резких притоков электроэнергии от ветряных и солнечных электростанций.

Рисунок 1.3 Ветровая энергия и отрицательные цены на оптовом рынке электроэнергии Германии



Источник: EPEX Spot (www.epexspot.com).

Противоречащий здравому смыслу феномен отрицательных цен на рынке электроэнергии стран ОЭСР, имеющих значительное количество переменчивых возобновляемых источников энергии, касается не только Германии или Европы. Так, канадская провинция Онтарио выплатила в течение первого полугодия 2011 года 35 млн канадских долларов за право экспорта электроэнергии, произведённой в провинции Онтарио, в провинцию Квебек или Соединенные Штаты Америки в течение 95 часов, когда цены были отрицательными (*Enerpresse, 2011*). В Южной Калифорнии ежегодная сводка цен на электроэнергию также содержит довольно большой набор отрицательных цен (*Forsberg, 2012, с. 12*). При прочих равных условиях, нулевые или отрицательные цены станут более частым явлением с внедрением более крупных электростанций, работающих на ПВИЭ. Однако, параллельно, руководители электроэнергетических систем и ответственные за обеспечение манёвренности путём управления спросом, хранения энергии, отключения или применения резервных мощностей становятся знатоками управления переменчивостью. Конечный результат, таким образом, будет зависеть от характера противостояния между развёртыванием ПВИЭ и мерами по улучшению манёвренности системы.

Однако, даже в экстремальных обстоятельствах отрицательных цен на электроэнергию, полностью непонятно, идёт ли речь исключительно об отрицательном внешнем эффекте, вызванном ПВИЭ с нулевыми переменными издержками, или о естественном экономическом явлении, связанным с отсутствием гибкости работающих объектов, которые предпочитают платить своим заказчикам, чтобы сбросить напряжение, а не заниматься дорогостоящим резервированием. Следовательно, пока ПВИЭ финансируются вне рынка, разработка нормативно-справочной базы, которая позволила бы отличить технологические внешние эффекты, связанные с благосостоянием, от приемлемых финансовых внешних эффектов, не представляется возможной.

В целом внедрение значительного количества мощностей, использующих ПВИЭ, подтолкнуло к серии важных структурных изменений. В то время как некоторые из причин снижения эффективности, такие как

изоляция ПВИЭ от рыночных цен, на которые они сами оказывают огромное влияние, могут быть чётко определены, оценка других осложнена. Тем не менее, в главе 3 представлены первые результаты оценки издержек на уровне сети, которые в действующих условиях представляет собой внешние издержки, связанные с благосостоянием, которые, таким образом, должны учитываться в общих затратах на производство электроэнергии. В качестве дополнения финансовые внешние эффекты перечислены в ознакомительных целях, но две категории рассматриваются отдельно.

Интернализация системных эффектов на уровне сети

Не все формы поддержки низкоуглеродной электроэнергии приводят к неоптимальной экономической ситуации. Первоначальная идея, лежащая в основе поддержки возобновляемых источников энергии, была мотивирована оправданными целями государственной политики, такими как снижение выбросов парниковых газов, влияющих на климат, и поддержка производства электроэнергии внутри страны для замены импорта. Другими словами, ставилась цель интернализации осознанных внешних издержек от изменений климата и зависимости от импорта. Однако, логически последовательным подходом к такой интернализации было бы обложение налогом самого внешнего эффекта, т. е. наложение налога на выбросы парниковых газов и на импортное топливо вместо обложения налогом некоторых технологий, существующих на рынке. Гарантия долгосрочных доходов только для ПВИЭ, посредством зелёных тарифов или при других инструментах, таким образом, является причиной появления технологических и финансовых внешних эффектов, порождённых переменчивостью ветровой и фотоэлектрической солнечной энергии.

Зелёные тарифы также приводят к возникновению разрыва между ценой на оптовом рынке и ценой, учитывающей повышение, которую потребители платят операторам сети, которые, таким образом, получают стоимость зелёных тарифов. Это снижает рентабельность альтернативных средств производства электроэнергии, которые, тем не менее, остаются незаменимыми для обеспечения надёжности энергоснабжения, и которым потребуются дополнительные доходы, получаемые посредством механизма платы за мощность. Независимо от социальных предпочтений одних технологий другим, текущая тенденция совмещения показателей рынка с разными слоями политических инструментов для достижения определённых результатов вызывает серьёзные проблемы, касающиеся прозрачности и, в конечном итоге, устойчивости электроэнергетического сектора в странах ОЭСР. В настоящее время все производители, использующие технологии, управляемые диспетчером, будучи поставленными в условия пониженных цен на электроэнергию и сниженных коэффициентов нагрузки, вызванных внедрением большого количества ПВИЭ, должны обеспечить необходимый уровень резервирования для удовлетворения спроса, в периоды невозможности использования ПВИЭ. Данная услуга является дорогостоящей, но в настоящее время не оплачивается. При низких уровнях замещения такие скрытые перераспределения могут переноситься системой. Однако растущие системные издержки требуют: 1) честных и прозрачных механизмов распределения для поддержки экономически устойчивых рынков электроэнергии и 2) новой нормативной базы для обеспечения резервирования и долгосрочного поддержания необходимых мощностей при наименьших затратах.

Внедрение большого количества переменчивых возобновляемых источников электроэнергии создаёт во многих случаях абсолютно новую ситуацию на оптовых рынках электроэнергии, что требует от всех участников быстрой адаптации. Требуется создание новых и инновационных организационных, нормативных и финансовых структур, обеспечивающих надлежащую оплату работы энергосистем и услуг по обеспечению манёвренности, которые включают услуги по краткосрочному выравниванию нагрузок, а также услуги по долгосрочному резервированию мощностей, предусматривающих возможность диспетчерского управления.

По существу, имеется четыре области, в которых может быть рассмотрено предоставление услуг, необходимых для обеспечения равновесия между спросом и предложением в электроэнергетических системах с большой долей ПВИЭ, а также для минимизации системных издержек, которые они порождают:

1. краткосрочное резервирование и долгосрочное поддержание мощностей, предоставляемые генераторами энергии с диспетчерским управлением, такими как атомные, угольные или газовые электростанции;
2. расширение объединённых рыночных энергосистем для выравнивания дисбаланса спроса и предложения в географически более широких зонах;

3. хранение для обеспечения краткосрочных запасов энергии, доступных при необходимости;
4. управление спросом для его ограничения в случае перебоев в энергоснабжении.

Ключевой вопрос в данном контексте заключается в том, кто возьмёт на себя затраты на реализацию данных мер по улучшению манёвренности. Полная интернализация предполагает возложение данных издержек на ПВИЭ. Это могло бы произойти в случае отмены нерыночного финансирования и необходимости для ПВИЭ продавать электроэнергию по рыночным ценам. Производители, использующие ПВИЭ, могли бы инвестировать собственные средства в меры по улучшению манёвренности до тех пор, пока более плавные графики выработки не позволят обеспечить более высокие показатели производства и дать возможность повышения цен.

На текущий момент посредством прямых и косвенных механизмов затраты на внедрение ПВИЭ распределяются на всех потребителей электроэнергии независимо от того, получена ли электроэнергия от ПВИЭ или от управляемых источников. Особенно важными в данном контексте являются механизмы платы за мощность, предоставляемые управляемыми системами, которая может быть использована при необходимости. Снижение цен, доходов и прибыли управляемых технологий приводит к необходимости получения ими доходов от других источников, если они должны остаться на рынке для предоставления необходимых услуг резервирования. Существует две основные возможности получения таких дополнительных доходов:

1. Плата за мощность или рынок с обязательствами по мощности, на котором производители, использующие ПВИЭ, обязаны покупать услуги по манёвренности у производителей, использующих управляемые технологии, которые, таким образом, получают дополнительные доходы.
2. Долгосрочные контракты с фиксированной ценой, предоставляемые властями (возможно, посредством аукционных торгов) либо на гарантированные объёмы генерации управляемых электростанций, либо на обеспечение гарантии круглосуточного использования их мощностей.

Правительствами и регулирующими органами стран ОЭСР запущены необходимые процессы обучения, консультаций и выработки последовательной политики, обеспечивающей внедрение данных механизмов. Это непростая задача. Однако, принимая во внимание их величину, технологические и финансовые внешние эффекты больше не могут в расплывчатой и непризнанной форме возлагаться на компании, использующие управляемые технологии. Включение системных издержек в оценку затрат на генерацию электроэнергии для содействия в обосновании выбора различных технологий является жизненно важным для принятия взвешенных решений. Прозрачность затрат невозможна без учёта системных издержек. В противном случае косвенное субсидирование будет добавлено к прямому и значительный объём скрытых затрат может в дальнейшем привести к неприятным сюрпризам.

1.3. Оценка и интернализация внешних социальных издержек

Как указывалось в разделе 1.1, внешние социальные издержки выходят за рамки энергосети. Несмотря на то, что они охватывают множество различных областей, начиная с рисков, связанных с изменением климата и загрязнением воздуха, заканчивая надёжностью энергоснабжения и экономическим развитием, исторически данный вопрос всегда был тесно связан с окружающей средой. Кроме того, ориентация на окружающую среду позволяет достаточно интуитивно трактовать ряд концептуальных вопросов.

Тесная связь внешних эффектов с неучтённым и неэффективным потреблением природных благ объясняет широко распространённую озабоченность отрицательными внешними эффектами. В принципе, рыночная деятельность подразумевает столько же положительных внешних эффектов, сколько и отрицательных. Положительные сетевые внешние эффекты и побочные эффекты в результате исследований и развития технологий уже упоминались. Однако, на сегодняшний день в энергетическом секторе речь чаще всего заходит об отрицательных внешних эффектах.

Экономисты давно отметили существование воздействий экономической деятельности на благополучие, которое было опосредовано рынком. Артур Сесил Пигу в книге «Богатство и благосостояние» (*Wealth and Welfare, 1912*) впервые описал концепцию социальных издержек. В его классическом примере аналогия строится с искрами, летящими из дымоходов локомотивов, работающих

на угле, из-за которых загораются поля, прилегающие к железнодорожным путям, тем самым нанося ущерб фермерам, использующим эти поля. Данный пример послужил основой для решительного шага вперед, который был сделан Кеннетом Эрроу, заключившим в книге «Организация экономической деятельности: вопросы, относящиеся к выбору рыночного или нерыночного распределения» (*The Organization of Economic Activity: Issues Pertinent to the Choice of Market versus Non-market Allocation, 1970*), что существование внешних эффектов эквивалентно отсутствию рынка для рассматриваемого товара. Простыми словами, высокий уровень выбросов электростанций на ископаемом топливе обусловлен отсутствием рынка свежего воздуха.

Данное утверждение не означает, что необходимо создать рынок свежего воздуха. Скорее внимание обращается на вопрос «Почему нет рынка свежего воздуха?». Ответ: «Потому что практически невозможно передать права собственности на свежий воздух» помогает понять причину существования социальных издержек. Связь между внешними эффектами и отсутствием рынка сопряжена с начальным определением экстерналий как эффектов, появление которых не является целью или предметом озабоченности тех, кто контролирует иницирующую эти эффекты деятельностью, или тех, кто несёт ответственность за управление и находится за пределами контроля или влияния тех, на кого они воздействуют. На рынке всегда присутствует механизм обратной связи между производителем и потребителем, который, безусловно, действует посредством оплаты в денежной форме. Указывая цену, которую он готов заплатить, потребитель сообщает производителю количество товара, который ему необходимо поставить, а производитель с радостью соглашается, так как интерес потребителя становится его собственным интересом посредством передачи денежных средств.

Определение причин отсутствия рынков равносильно определению причин существования внешних эффектов. Рональд Коуз в статье «Проблема социальных издержек» (*The Problem of Social Cost, 1960*) показал, что все проблемы внешних эффектов можно свести к рыночным транзакционным издержкам. Чем выше эти издержки, тем выше уровень внешних или социальных издержек. Несмотря на то, что, бесспорно, это было важным аналитическим заключением, утверждение о том, что транзакционные издержки приводят к социальным издержкам, не говорит о многом. Это связано с тем, что транзакционные издержки относятся к остаточной категории, которая включает все те эффекты, которые экономисты не могут определить надлежащим образом. Забегая немного вперед, можно определить две важные категории транзакционных издержек, которые помогут понять причины отсутствия рынка и существования внешних издержек.

Первая категория касается отсутствия прав собственности на рассматриваемые товары. Отсутствие прав собственности обусловлено либо физическим характером товаров (таких, как свежий воздух), либо решениями, мотивированными с этической точки зрения (такими, как обслуживание пляжей как общего имущества). Без всякого сомнения, затраты и трудности, связанные с определением прав собственности, можно отнести к транзакционным издержкам. Кроме того, само собой разумеется, что транзакционные издержки не являются непреодолимым барьером для обмена и существования рынков. Например, научно-технические достижения могли бы упростить сбор и передачу информации, и, таким образом, способствовать созданию новых рынков. Наглядным примером является рынок, связанный с выбросами серы, который хорошо функционирует в Соединенных Штатах Америки с 1993 года в рамках «Программы снижения вредного воздействия на экосистему, природные ресурсы и население в результате выпадения кислотных дождей» (*Acid Rain Program*). Эта программа была бы совершенно невообразима без возможности измерить количество выбросов каждого участника, а затем проверить, передать и обработать информацию по разумной цене.

Вторая категория имеет менее экономический характер, но также в значительной степени способствует существованию внешних эффектов, в частности связанных с окружающей средой. В данном случае рассматривается процесс формирования индивидуальных предпочтений и форма их выражения. Существование рынка, обеспечивающего возможность денежного выражения стоимости, требует чётко определённых предпочтений, касающихся ясно идентифицированных и кодифицированных товаров. Однако если говорить о внешних эффектах, у людей есть беспокойства, опасения, надежды, пробелы в информации и все они влияют на их благополучие. Наглядным примером является отношение к ядерной энергии. Неточность этих «мнений», положительных или отрицательных, часто препятствует оптимальной интернализации, так как они не позволяют сделать чёткий выбор между разными возможностями, что является непременным условием существования рынков.

Внешние эффекты часто имеют динамическую характеристику, так как они появляются в виде новых явлений, поддерживаемых оригинально мыслящими личностями и группами людей с радикальными взглядами. В начале 70-х годов политическое внимание разделялось между беспокойствами по поводу изменения климата и глобального потепления и страхом глобального похолодания из-за широкого использования аэрозолей и наступления нового ледникового периода. Только прогрессивные

исследования, общественное обсуждение и социальные процессы систематизируют проблемы до уровня, на котором может быть надлежащим образом произведена их оценка и интернализация. Процессы производства, снабжения и потребления энергии имеют много внешних аспектов и выявляются новые. Подумайте о реальных или вымышленных о воздействиях магнитных полей вокруг наземных линий электропередачи. Энергетические системы находятся в самом центре современного общества, а их структура и эффективность отражают глубоко укоренившиеся политические цели и убеждения, как явные, так и скрытые. Тем не менее, возможность идентификации, а иногда и измерения внешних издержек существует. Как бы то ни было, без всякого сомнения, внутри категории социальных издержек существует широкий круг проблем различного уровня концептуальной, экономической и политической устойчивости, для решения которых также требуется большой набор инструментов.

Вопрос социальных издержек

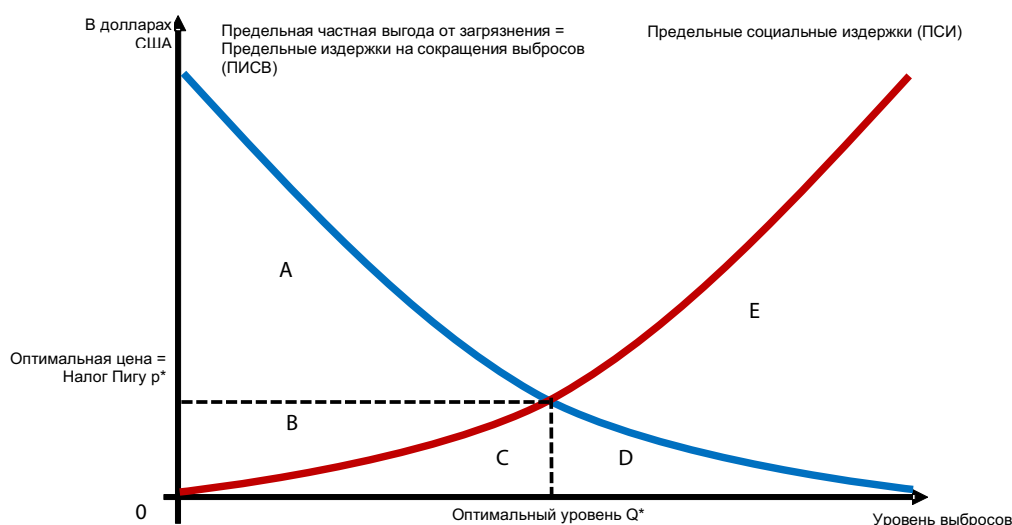
Со времен Пигу экономисты пытаются надлежащим образом структурировать вопрос социальных издержек и найти адаптированные инструменты для интернализации внешних эффектов в процессе принятия экономических решений. Часто звучащая критика в адрес экономического подхода заключается в том, что он осуществляется в рамках статической оптимизации и не учитывает динамические изменения. Расширенная методологическая дискуссия в данном случае неуместна. В целом экономика с большей уверенностью анализирует статистические оптимумы, чем динамические изменения. Тем не менее, экономический подход позволяет, по крайней мере, определить концептуальный ориентир и точную отправную точку для обсуждения инструментов экономической политики. Соображения, касающиеся динамических изменений, должны быть включены на следующем этапе.

Вопреки интуитивным представлениям, оптимальным уровнем социальных издержек в экономической структуре является *не ноль*. Даже если это может показаться удивительным, на самом деле это вполне понятно, поскольку экономические затраты позволяют избежать внешних эффектов. Подобные издержки, которые называются издержками на сокращение выбросов или затратами на обеспечение контроля, которые должны быть возложены на загрязняющие объекты для снижения уровня загрязнения. Экономика показывает, что стоимость мер по снижению выбросов, *если соответствующие меры не предпринимаются*, точно равна экономическим выгодам от загрязнения. Другими словами, доллар, сэкономленный на контроле загрязнения, равен заработанному доллару.

В экономических рамках оптимальный уровень внешних эффектов или оптимальный уровень производства определяется равенством предельных социальных издержек внешнего эффекта и предельными издержками на сокращение выбросов, которые, естественно, равны предельной частной выгоде. Таким образом, в оптимальной ситуации последняя единица выбросов причиняет ровно столько же вреда (выраженного в денежном эквиваленте), сколько стоит его уменьшение. Это соответствует частной коммерческой выгоде, которую производитель может получить от дополнительной единицы загрязнения. На хорошо известном рис. 1.4 проиллюстрировано данное утверждение.

В качестве примера возьмём производителя электроэнергии, работающего на угле. До тех пор, пока предельный общественный ущерб от дополнительной единицы выбросов твёрдых частиц и парниковых газов превышает предельную экономическую выгоду для производителя электроэнергии, уровень выбросов должен быть снижен, т. е. от любой точки, находящейся справа от оптимальной точки Q^* , нужно двигаться влево. И наоборот, если предельная выгода (исключая предельные издержки на сокращение выбросов) для производителя электроэнергии от дополнительной единицы выбросов превышает его предельный ущерб, то допустимый уровень выбросов следует увеличить, т. е. от точки, находящейся слева от оптимальной точки Q^* , нужно двигаться вправо. Оптимальный уровень выбросов достигается тогда, когда предельные социальные издержки равняются частным предельным издержкам на сокращение выбросов.

В экономической теории существует четыре основных подхода для достижения оптимального уровня выбросов Q^* (см. ниже подробное описание различных инструментов экономической политики). Первые два основаны на идее *дополнения существующих рынков* или *создания новых рынков* и могут быть классифицированы как «моделирование рынка». Третий подход устанавливает *количественные пределы посредством регулирования*. Наконец, в четвёртом подходе подразумевается использование качественных *институциональных механизмов* для решения проблемы социальных издержек, появляющихся в результате явлений, которые слишком сложны и недостаточно определены, чтобы их можно было подвергнуть статической оптимизации, поскольку процесс формулирования и выражения предпочтений пока находится в стадии обсуждения.

Рисунок 1.4: **Оптимальная статическая интернализация**

Первый подход к достижению равенства между предельной выгодой и предельным ущербом был разработан самим А.С. Пигу. Чтобы заставить British Rail снизить уровень выбросов искр из локомотивов, он предложил налог, позже названный его именем, который взимается правительством с каждой единицы выбросов. Данный налог равняется предельному значению социального ущерба в точке оптимальности, что означает, что он также равен предельной частной выгоде в этой точке. В мире, в котором нарушения являются недопустимыми, это заставило бы производителя, нацеленного на максимальное увеличение прибыли, ограничить уровень выбросов до оптимальной точки.

Учитывая вышеупомянутую связь между внешними эффектами и отсутствием рынков, предложение Пигу, по существу, создаёт рынок, который до сих пор отсутствовал. В данном случае, органы государственного управления в интересах максимального увеличения общего благосостояния общества выполняют функции смотрителя социальных ресурсов и устанавливают социально оптимальную цену. Стимулом для производителя сократить уровень выбросов теперь является цена, которую он должен платить за выбросы искр, твёрдых частиц или парниковых газов.

Будучи совершенно логичным и экономически эффективным, подход Пигу сопряжён с серьёзными препятствиями: получить информацию, необходимую для определения оптимального уровня налога, очень сложно. На политическом уровне налог Пигу также вносит существенные изменения в распределение прав на использование окружающей среды, что может привести к реальным экономическим потерям или выгодам для различных групп пользователей или производителей, исчисляющимся миллиардами долларов. Это часто объясняет яростное сопротивление экологическим налогам, например, налогам на выбросы двуокиси углерода, со стороны тех, кто должен будет их платить.

Распределительные конфликты между разными лоббистами как таковые не являются доводом против инструмента экономической политики, который создан для того, чтобы максимально увеличить всеобщее социальное благосостояние. На концептуальном уровне, именно проблема информации является самым уязвимым местом пигувианского подхода, сконцентрированном на оптимальном ценообразовании внешних эффектов. Для того, чтобы установить оптимизированный налог, правительству необходимо владеть информацией, касающейся не только издержек на сокращение выбросов, но также и о затратах, связанных с ущербом для общества от выбросов, включая загрязнение одежды, повреждение зданий и мостов, неприятные ощущения, связанные с зудом глаз, увеличение показателей роста смертности наряду с повышением уровня моря и опустыниванием. Выбранные примеры указывают на то, что получить точные цифры сложно. Однако на практике нижние пределы затрат, связанных с ущербом, могут быть довольно легко определены и переведены в налоги на выбросы.

Тем не менее, проблема информации лежит в основе пигувианского подхода. Напомним, что социальные издержки или внешние эффекты обусловлены транзакционными издержками, которые в первую очередь, препятствуют их интернализации. Трудность получения исчерпывающей и значимой

информации является важной составляющей частью транзакционных издержек. Другими словами, если бы частные субъекты экономической деятельности располагали всей необходимой информацией, они бы уже сами произвели интернализацию рассматриваемых внешних издержек посредством правовой системы.

Этот аргумент был разработан Рональдом Коузом, ещё одним британским экономистом, но близко связанным с Чикагским университетом. В своей известной статье «Проблема социальных издержек» (*The Problem of Social Cost*, 1960), он сформулировал основополагающую идею, согласно которой уровень социальных издержек определяется уровнем транзакционных издержек. Если частные субъекты экономической деятельности, которые вполне способны достичь социально оптимальных результатов в других случаях, не торопятся действовать таким же образом в случае внешних эффектов, это обусловлено реальными издержками, связанными с улучшением существующего положения дел. Фактически, его аргумент говорит о том, что мы уже живём в лучшем из всех возможных миров. Поскольку доступ к информации о социальных издержках также сложен для чиновников, как и для тех, кого они главным образом касаются, желание улучшить существующие социальные издержки является дорогостоящей глупостью. Коуз не отрицал существования таких социальных издержек. Он отрицал только то, что они могут быть сокращены таким образом, который приведёт к лучшим экономическим результатам.

Его последователи расширили его аргументы, говоря о том, что если имущественные права или права пользования экологическими ресурсами будут однозначно переданы той или иной стороне, это значительно сократит уровень транзакционных издержек и позволит интернализацию внешних эффектов посредством двусторонних переговоров. Это относится, в частности, к местным ресурсам, которые совместно используются соседями. Можно, например, подумать об озере, на одном берегу которого находится обустроенный для туристов кемпинг, а на другом берегу лесоперерабатывающее предприятие, сбрасывающее древесные отходы в озеро. Возвращаясь к вышеприведённому рис. 1.4, при рассмотрении любой точки, находящейся справа от точки оптимального уровня, если издержки кемпинга превышают выгоду лесоперерабатывающего предприятия, для владельца кемпинга имеет смысл заплатить лесоперерабатывающему предприятию сумму, меньшую, чем его собственный предельный ущерб, но выше, чем предельные выгоды последнего для сокращения объёма выбросов. И наоборот, при рассмотрении любой точки, находящейся слева от точки оптимального уровня, было бы более целесообразным для лесоперерабатывающего предприятия платить за право, позволяющее ему увеличить объём выбросов, а для кемпинга дать ему такое право, до тех пор, пока согласованная сумма будет выше предельных издержек и ниже предельной выгоды. Любой из двух процессов будет продолжаться до тех пор, пока не будет достигнута точка оптимального уровня.

Поразительный результат коузовского подхода заключается в том, что одна и та же точка оптимального уровня может быть достигнута независимо от первоначального распределения имущественных прав или прав пользования, т. е. независимо от того, кто обладает правом использования преимуществ озера с чистой водой, лесоперерабатывающее предприятие или владелец кемпинга. Процесс достижения оптимального уровня путём переговоров между частными субъектами экономической деятельности будет ограничен только транзакционными издержками, существование которых, в свою очередь, будет оправдывать неоптимальный уровень социальных издержек.

Будучи интересным и интеллектуально стимулирующим, коузовский подход, как в общих чертах, так и в отношении прав собственности, должен быть изложен в очень чёткой перспективе. В первую очередь, в отношении прав собственности, совершенно очевидно, что частные транзакционные издержки возрастают с увеличением количества участников. В то время как распределение чётко определённых прав пользования открывает интересную перспективу для двусторонних переговоров между двумя сторонами, использующими одно и то же озеро, подобные переговоры являются неприемлемым вариантом в вопросах, касающихся загрязнения воздуха или изменений климата, касающихся тысяч или миллионов человек с обеих сторон. В таких случаях, коллективные действия, организованные неправительственными организациями (НПО), государственными учреждениями или властями, являются значительно более эффективными в достижении прогресса в серьёзном сокращении неразумно высоких социальных издержек, чем частные переговоры. Однако это возвращает к определённой форме пигувианского подхода.

Основным аргументом Коуза фактически является то, что мы уже живём в лучшем из всех возможных миров, поскольку уровень транзакционных издержек определяет уровень внешних издержек, что, в конечном итоге, является тавтологией, которая применяется только при очень строгой интерпретации понятия статической оптимальности. Таким образом, в коузовском подходе не учитываются какие-либо значимые, динамические, ориентированные на будущее политические действия. Коузовский подход не принимает во внимание тот факт, что цель политических действий заключается именно в снижении транзакционных издержек, например, путём создания лучших условий для научных исследований, лучшего информирования, стимулирования с большей долей принуждения или более чётко

определённой ответственностью для обеспечения новых путей интернализации, которая позволит добиться более низкого уровня социальных издержек и более высокого уровня всеобщего благосостояния.

Коузовский подход становится более значимым для разработки государственной политики, если он истолкован в такой динамической перспективе. Таким образом, он учит правительства и ответственных за принятие решений не заменять результатами своих собственных действий результаты действий частных лиц, а создавать условия, при которых частные субъекты экономической деятельности могут наилучшим образом продвигаться в направлении всеобщей оптимальности путём снижения транзакционных издержек. Такой некоузовский подход подразумевает четыре различные стратегии решения вопроса социальных издержек, включая полные затраты на производство электроэнергии:

1. финансирование исследований и распространение информации о различных аспектах полных затрат;
2. организация общественных и институциональных процессов, позволяющих перейти от расплывчатых устоявшихся мнений, интуитивных заключений и предубеждений к серьёзным общественным предпочтениям, которые могли бы быть воплощены в конкретные политические цели;
3. уточнение распределения имущественных прав и прав на пользование природными ресурсами, а также ответственности, касающейся других целей государственной политики (например, надёжности снабжения);
4. создание рынков, таких как системы торговли квотами на выбросы путём определения рыночной продукции и распределения прав собственности, которые позволяют частным субъектам экономической деятельности работать над достижением эффективных результатов, касающихся параметров, которые ранее имели невероятно высокий уровень транзакционных издержек.

Распределение имущественных прав и прав на пользование является чрезвычайно щепетильным вопросом. Климатическая политика является тому наглядным примером. Попытки сократить выбросы парниковых газов попали под воздействие негласной борьбы по поводу того, кто должен обладать правами на пользование земной атмосферой. В то время как исторически установленные права на пользование были на стороне производителей выбросов, текущие политические предписания слегка легкомысленно, исходя из принципа «Платит загрязнитель», чьё практическое применение чаще всего оказывается сложнее, чем может предположить случайный наблюдатель, предусматривают, что текущие права пользования принадлежат широким слоям населения. В этом нет ничего в корне неправильного. Проблема заключается лишь в том, что за скрытым вопросом распределения, который является значительным по своему масштабу, измеряемым миллиардами долларов, стоит определение стратегий разных субъектов экономической деятельности и блокирует какой-либо всеобщий прогресс в существенном сокращении выбросов парниковых газов. Следует признать, что на общем уровне, включающем в себя внешние эффекты, не выраженные на сегодняшний день в денежной форме, действия в области изменения климата приносят результаты. Однако, утверждая это, мы упускаем из виду огромные *негативные* распределительные последствия природоохранных мер на производственные секторы, регионы и фактически на целые страны. Пока внешние эффекты не найдут ценового выражения, природоохранные меры (при прочих равных условиях) также будут несколько сокращать уровень всеобщего экономического благосостояния исключительно с точки зрения ВВП, хотя динамические воздействия могут также способствовать достижению некоторых положительных экономических результатов. Поскольку проблема распределительных последствий остаётся без внимания, проигравшие в результате природоохранных мер побуждаются к созданию препятствий значительному сокращению выбросов. Иногда даже основные потенциальные выгодоприобретатели от природоохранных мер будут блокировать их, например, потребители, проживающие в районах с низким уровнем застройки, которые сопротивляются повышению тарифов на электроэнергию как следствие платы за выбросы двуокиси углерода.

Вопрос распределения также часто влияет на дискуссии о выборе какого-либо из политических инструментов, которые, по сути, все нацелены на одну и ту же оптимизирующую интернализацию социальных издержек. С технической точки зрения, разные инструменты предполагают разные виды распределения аренды окружающей среды. Окружающая среда, которая предоставляется самой же природой бесплатно, и её использование представляют собой реальную экономическую ценность. Обеспечение оптимального уровня внешних издержек эквивалентно максимизации цены аренды на окружающую среду, принимая во внимание конкурирующие виды пользования. В качестве примера возьмём производителя электроэнергии, работающего на угле. Оптимальный уровень выбросов может быть достигнут либо экологическими налогами, либо постановлениями правительства, устанавливающими нормы общего объёма выбросов в точке оптимального уровня Q^* . Для независимого наблюдателя, заинтересованного только в максимальном повышении уровня всеобщего благосостояния, не имеет значения, какой выбран для этого инструмент. Но для производителя, населения или

правительства выбор инструмента имеет огромное значение, так как их доходы зависят именно от выбранного инструмента (см. табл. 1.2, которая ссылается на вышеприведенный рис. 1.4.). С точки зрения экологической аренды, доход для разных сторон будет зависеть от инструмента, выбранного для интернализации. Поэтому выбор инструмента неизбежно подразумевает политический выбор с точки зрения распределения.

Таблица 1.2: **Распределительные последствия разных стратегий интернализации**

(Доли экологической ренты А, В, С, D и Е соответствуют зонам, обозначенным на рис. 1.4)

	Текущее положение (отсутствие действий)	Налог (налог Пигу)	Норма	Торговля разрешениями (Производитель электроэнергии)	Торговля разрешениями (население)
Производитель электроэнергии	A+B+C+D	A	A+B+C	A+B+C	A
Население	-C-D-E	-C	-C	-C	-C
Правительство	0	B+C	0	0	B+C
Общая сумма аренды	A+B-E	A+B	A+B	A+B	A+B

Примечание. Сугубо технический аргумент касается незначительного недостатка количественных норм с экономической точки зрения. Их частичная оптимальность не касается размера самих социальных издержек, поскольку при точных данных, социально оптимальный уровень выбросов будет достигнут как благодаря налогу, так и благодаря норме. Он касается средств, используемых для снижения загрязнения до оптимального уровня. Рассмотрим пример сокращения углеродосодержащих выбросов угольными электростанциями. При существовании налога на выбросы двуокиси углерода производитель электроэнергии выберет способ наиболее эффективного сокращения выбросов при наименьших затратах путём сочетания разных технологических мер, таких как использование более эффективных котлов и снижение выработки электроэнергии для достижения определённого уровня выбросов. При внедрении количественной нормы производители электроэнергии будут чрезмерно инвестировать в технологические средства уменьшения выбросов и меньше инвестировать в средства сокращения производства, продавая, таким образом, больше электроэнергии, чем при налоге на выбросы двуокиси углерода. Это связано с тем, что в обычном случае, выбросы ниже предельного уровня бесплатны и только последняя единица выбросов обеспечивает соответствие стандарту. То, что кажется преимуществом, т. е. продажа большего объёма электроэнергии при одном и том же объёме выбросов, на самом деле является экономическим недостатком. Взимая налог Пигу, правительство могло бы создать *большую* стоимость для всей экономики, чем добавочный излишек для потребителей электроэнергии, появляющийся в результате действия нормы. Несомненно, это побочный эффект, который на практике быстро вытесняется распределительными или политическими соображениями. Он также не относится к схемам торговли квотами на выбросы, которые, несмотря на то, что основаны на общем количественном пределе, устанавливают цену и на выбросы ниже предельного уровня. Однако приведённый аргумент объясняет причину того, почему экономисты действительно, практически при любых обстоятельствах, предпочитают методы, основанные на стоимости.

В решении Пигу значительная доля экологической ренты удерживается правительством в виде налога на выбросы. Доля, остающаяся у производителя электроэнергии, будет меньше, чем во всех других вариантах, и, в частности, намного меньше, чем в ситуации с политикой невмешательства. Решение Коуза может соотноситься как с политикой невмешательства в текущее состояние дел, если транзакционные издержки считаются слишком высокими, так и с торговлей разрешениями на выбросы как особой формой подхода к правам собственности.⁴ Очевидно, что политика невмешательства или передача прав пользования производителю электроэнергии и его клиентам, являются более выгодными решениями для последних, чем налог на выбросы. Только торговля разрешениями с передачей прав пользования населению в целом сможет повторить эффект распределительных последствий налога на выбросы двуокиси углерода. В этом случае производитель электроэнергии будет приобретать разрешения, необходимые для продолжения своей деятельности, либо на аукционных торгах, либо на фондовом рынке. Можно предположить, что в обоих случаях поступления будут попадать в государственную казну. Таким образом, разные инструменты экономической политики имеют разные распределительные последствия. Необходимо отметить, что последним, но немаловажным фактором является то, что все инструменты экономической политики имеют значительно больший уровень влияния на всеобщее благосостояние, чем политика невмешательства, т. е. политика поддержания текущего состояния, которая неизбежно ведет к огромнейшим социальным издержкам.

4. Строго говоря, чисто коузовский подход, основанный исключительно на правах собственности, исключает какое-либо вмешательство со стороны правительства. Однако в случае выбросов в атмосферу, кажется очевидным, что некоторым видам учреждений, правительству, НПО, ассоциациям, придётся защищать права пользования населения в целом из-за большого количества лиц, испытывающих на себе влияние таких выбросов.

Экологические налоги, субсидии и торговля квотами на выбросы

Ввиду их значимости для экономической политики, касающейся внешних социальных издержек на энергию, экологические налоги и нормы, субсидии и торговля квотами на выбросы как три важных инструмента будут представлены более подробным образом. Среди данных инструментов вероятней всего один или несколько будут играть ключевую роль в разработке политики в энергетическом секторе, направленной на учёт полных затрат на производство электроэнергии.

а) Экологические налоги и нормы

Экологические налоги непосредственно основываются на рассуждениях Пигу о том, что ущерб, причиняемый внешним эффектом, должен иметь такую высокую стоимость, что его уровень будет ограничен до оптимального. Экологический налог также может рассматриваться как налог на использование фактора производства, который в данном случае является экологическим благом, например, свежий воздух. Как и любое повышение налогов или цен на входные ресурсы, этот налог скажется на выходном продукте и приведёт к эффекту замещения, т. е. будет производиться меньше конечной продукции (так как спрос будет падать в результате общего роста цен, вызванного ростом цен на входной ресурс), и производство заменит налогооблагаемый ресурс, т.е. окружающую среду, другими факторами производства (капитал, труд). На практике это означает вложение инвестиций в оборудование с меньшим воздействием на окружающую среду.

Как было указано выше, экологический налог влияет на распределение экологической ренты, так как правительство присваивает себе значительную часть экологической ренты. Безусловно, можно поддерживать бюджетный нейтралитет, т. е. компенсировать ренту. Однако важно, чтобы данное перераспределение не зависело от суммы экологического налога, уплачиваемого каким-либо лицом, что может нейтрализовать любые побудительные воздействия. В идеале налог должен быть перераспределён в форме единой фиксированной ставки на душу населения. Целевое назначение экологических налогов может привести к новым видам экономической неэффективности.

Огромное преимущество экологических налогов заключается в давлении, которое они оказывают на научно-технический прогресс не только в статическом, но и в динамическом отношении. В условиях существования экологического налога предприятиям выделяются средства на инвестиции в исследования, касающиеся новых технологий, которые могут даже не привести к получению конкретных результатов, поскольку потенциальный доход от новых изобретений выше, чем в условиях отсутствия налога.

Часто решения по инструментам экологической политики необходимо принимать в условиях неопределённости относительно того, при каком конкретном уровне загрязнения уровень благосостояния может быть максимально повышен. В таких случаях необходимо уделить особое внимание относительной гибкости кривой предельных социальных издержек и кривой предельных выгод. Если первая является менее гибкой, в качестве основного следует выбрать количественный метод, такой как внедрение нормы, поскольку он ограничит влияние ошибки в отношении социальных издержек; если последняя является менее гибкой, следует выбрать метод, основанный на стоимости, так как он ограничит влияние ошибки в отношении экономических затрат.

б) Субсидии

Теоретически, субсидии выполняют функцию механизма интернализации Коуза, в котором права собственности принадлежат предприятию и в котором правительство (выступающее в роли агента испытывающих на себе влияние внешнего эффекта) платит за сокращение действия внешнего эффекта. Можно показать, что в зависимости от точной формы субсидий, этот инструмент может быть экономически эффективен в рамках статической оптимизации. Выплата субсидий может принимать различные формы. Гранты являются непосредственными единовременными денежными переводами и фактически могут выплачиваться за снижение производительности, а также за внедрение новой технологии, снижающей уровень выбросов. Можно предположить, что льготные кредиты с процентными ставками ниже рыночной относятся только к инвестициям в новые технологии, снижающие уровень выбросов. Наконец, налоговые льготы могут принимать две формы: они могут предоставляться для инвестиций в новые технологии или для экологически более чистых товаров. В первом случае они функционируют как льготные кредиты; во втором случае они функционируют точно так же, как налоги на экологически вредную продукцию (разумеется, с обратным распределением ренты между правительством и производителями), поскольку они делают производство товаров с высоким уровнем внешних эффектов относительно более дорогостоящим.

Субсидии характеризуются двумя нежелательными побочными действиями. Первое выражается в том, что их необходимо финансировать, взимая налоги с других товаров и услуг, что ведёт к хорошо

известным потерям экономической эффективности, о которых говорится в литературных источниках, посвящённых вопросам государственного бюджета. Второе выражается в том, что они обладают чрезвычайно неопределёнными динамическими эффектами. Если выплата субсидий связана с внедрением новых технологий, предприятия могут действительно повысить свою эффективность, но только до того уровня, который был оговорен заранее. С другой стороны, если с точки зрения производства внешних издержек субсидии зависят от какого-либо порогового значения (представьте себе «энергоёмкие компании»), они могут фактически подталкивать к неправильному поведению, поскольку предприятия прилагают усилия, чтобы войти в категорию субсидируемых предприятий.

в) Торговля квотами на выбросы

Создание рынков для торговли квотами на выбросы, таких как углеродные рынки, является непревзойдённым экономическим рычагом и имеет некоторые привлекательные для интернализации особенности. Тем не менее, полезно вернуться к начальному определению внешних эффектов как товаров, для которых не существует рынка. Таким образом, создание рынка в целях интернализации внешних эффектов всегда является трудной задачей. В то же время новые технологические разработки, особенно в области сбора и обработки информации, могут снизить транзакционные издержки до уровня, при котором рыночная деятельность в отношении новых товаров широкого потребления становится выгодной. В любом случае создание нового рынка для торговли квотами на выбросы безусловно повлечёт за собой существенный уровень вмешательства со стороны правительства, с целью создания учреждений, средств платежа и контроля, необходимых для вовлечения частных операторов.

Для того, чтобы рынок торговли квотами на выбросы мог функционировать, правительство должно сначала определить максимально допустимый общий уровень загрязнения. Затем этот объём делится на более мелкие единицы, для которых создаются так называемые разрешения на выбросы или квоты. Данные разрешения впоследствии будут выданы или проданы заинтересованным предприятиям. Любое предприятие, имеющее разрешение, сможет затем загрязнять окружающую среду в пределах, соответствующих количеству имеющихся у него разрешений. Любое предприятие, желающее увеличить объёмы своих выбросов, или любое новое предприятие, выходящее на рынок, будет обязано приобретать новые разрешения у существующих предприятий по определённой цене.

Торговля квотами на выбросы сочетает в себе динамическое стимулирование налога с чёткостью количественной нормы и прозрачностью однозначного распределения прав пользования. Дополнительным преимуществом является то, что перераспределение экологической ренты можно легко урегулировать за счёт доли квот на выбросы, распределяемых бесплатно для существующих предприятий («дедушкина оговорка») или распродают правительством на аукционных торгах. Таким образом, сумма ренты, передаваемой от предприятия правительству, определяется по первоначальной цене разрешений на выбросы. Вместе с тем окончательная цена на рынке определяется относительным дефицитом и не зависит от начальной цены передачи предприятиям.

Поскольку разрешения на выбросы всегда создают стоимость, либо в качестве входного ресурса в производство, либо в качестве финансового актива на рынке, у предприятий также есть стимул использовать как можно меньше разрешений. Они будут инвестировать в дополнительные средства для снижения уровня выбросов везде, где это возможно, создавая положительный динамический эффект уменьшения выбросов на единицу выпускаемой продукции, даже если абсолютные уровни загрязнения будут оставаться постоянными.

Торговля квотами на выбросы может считаться гибридным финансовым инструментом, который включает аспекты как пигувианского, так и коузовского подхода. От первого подхода торговля квотами берёт установление цен на все единицы выбросов; от второго торговля квотами берёт идею создания рынков путём распределения прав собственности. Последним, но немаловажным элементом является то, что торговля квотами на выбросы берёт от неокоузовского подхода идею, согласно которой роль правительства заключается прежде всего в снижении транзакционных издержек в целях обеспечения новых и более эффективных форм интернализации.

Самая известная система торговли квотами на выбросы, Европейская система торговли квотами на выбросы CO₂ (EU-ETS) хорошо функционирует на техническом уровне. Однако из распределительных соображений лица, принимающие решения, выбрали слишком низкий уровень квот, чтобы учесть цены, которые могли бы существенно изменить инвестиционные и организационные решения. Переход от бесплатного распределения квот в соответствии с исторически сложившимися правами пользования к распределению посредством аукционных торгов повысил необходимость принять во внимание затруднительное положение, в котором находятся предприятия, исторически являющиеся источниками выбросов CO₂, которые ранее могли смягчать последствия такого перехода. Несмотря на всю свою многосложность, Европейская система торговли квотами на выбросы в настоящее время не может внести

решающий вклад в продвижение низкоуглеродных технологий на Европейском рынке электрической энергии.

Измерение полных затрат

В предыдущем разделе были представлены наиболее важные инструменты политики, направленные на статическую оптимизацию уровня внешних эффектов с целью максимального увеличения общего благосостояния. Таким образом, идея заключается во всесторонней интернализации полных затрат, включающей производственные издержки на уровне электростанции, системные издержки на уровне сети и социальные издержки. В идеальной ситуации это потребовало бы знания не только всех соответствующих факторов экономических затрат, которые входят в кривую предельных частных выгод, но и факторов кривой предельных социальных издержек. Как указано в критике Коузом пигувианского подхода, получение данной информации является особенно сложным. Если бы она была затребованной и общепризнанной, интернализация уже была бы реализована посредством правовой системы. Так, определение прав собственности, если таковое возможно при разумном уровне транзакционных издержек, будет способствовать дальнейшему продвижению этого процесса.

Как отмечалось выше, внутреннее противоречие пигувианского подхода имеет место только в статической перспективе, тогда как в динамической перспективе, когда заинтересованные стороны, эксперты и власти постепенно разрабатывают всё более чёткие понятия частных, рыночных издержек, издержек на уровне сети и социальных издержек, интернализация с помощью экономических инструментов, таких как налоги Пигу, торговля квотами на выбросы или количественные нормы, действительно способствует продвижению экономического благосостояния. Транзакционные издержки и, в частности, информационные транзакционные издержки, как правило, амортизируются в процессе экономических, социальных и политических изменений. В связи с этим, работа заинтересованных сторон и НПО или финансируемых государством исследовательских программ позволит получить ранее недоступную информацию о биофизических связях, индивидуальных и социальных предпочтениях и, наконец, об экономических затратах, учитывающую различные аспекты. Ниже кратко представлены некоторые методы, применяющиеся экологами-экономистами для того, чтобы дать денежное выражение внешним социальным издержкам (которые в некоторой степени являются внешними ввиду сложности их оценки), которое лежит в основе большинства экономических инструментов интернализации.

В то время как построение кривой предельных социальных издержек является фундаментальной проблемой для экологов-экономистов, построение кривой предельных выгод или предельных издержек на сокращение выбросов представляет собой обременительную, но методологически простую задачу, поскольку вся необходимая информация касается рыночных товаров с известными ценами. Разные технологии имеют разные затраты, а также разные коэффициенты выбросов. При допущении фиксированного уровня производства различные технологии связываются с процентным сокращением выбросов. Таким образом, можно получить ступенчатые функции, смещённые вправо при нанесении на график значений сокращения выбросов от 100 до нуля. Полученные таким образом затраты представляют собой средние затраты при соответствующем уровне производства. Учитывая, что данные средние затраты изменяются скачкообразно по мере увеличения выбросов, их можно рассматривать индивидуально в качестве диапазонов предельных издержек.⁵

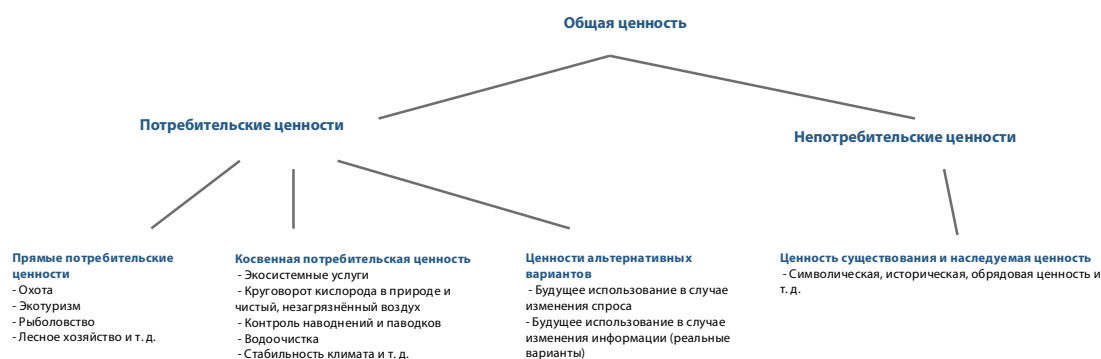
5. Некоторые утверждают, что это единственная информация, необходимая для определения оптимального размера налога или нормы. В этом случае органы государственной власти примут решение о желаемом процентном снижении уровня выбросов на основании формы кривой предельных издержек на сокращение выбросов. Это предполагает, что в процессе принятия государственных решений подразумевается использование информации об издержках, связанных с ущербом. Однако данное «окольное» рассуждение наивно и недальновидно. В частности, оно обходит вопрос фактов, на которых будет основываться оптимизирующий политический процесс.

Как указывалось ранее, количественная оценка и денежное выражение затрат, связанных с ущербом, лежит в основе экологической экономики. Оппоненты отмечают цинизм по отношению к денежному выражению стоимости здоровья и жизни человека, тогда как сторонники указывают на то, что такое вычисление косвенно производится каждый день, когда, например, власти сравнивают спасательный потенциал ремней безопасности с их затратами для потребителей и автомобильной промышленности. На практике денежное выражение часто помогает определить, по крайней мере, нижний предел издержек, связанных с ущербом. В методах, используемых для определения социальных издержек в денежном выражении, предложены шаги на пути к нахождению решений, превосходящих существующее положение вещей. Устанавливая нижний предел для порядка величины ущерба, они, таким образом, вносят вклад в процесс политических переговоров.

При обсуждении различных методов, используемых для сбора информации о внешних социальных издержках, окружающая среда, понимаемая здесь в самом широком смысле, представляет собой парадигматический пример. Несмотря на то, что, в принципе, большинство этих методов можно использовать для оценки социальных издержек и в других областях, это делается редко. Фактически большинство этих методов было разработано непосредственно для оценки ущерба, причиняемого окружающей среде. Одним из объяснений этого факта является то, что социальное нормирование ущерба для окружающей среды получило такое мощное развитие за несколько последних десятилетий, что стало возможным выполнение количественной оценки. При этом в таких сферах, как надёжность энергоснабжения или влияние различных технологий генерации на экономический рост или занятость, дело обстоит иначе. Как указывается в следующем разделе о динамической природе внешних эффектов, необходима интернализация таких воздействий посредством косвенных институциональных механизмов, которые обязаны своим существованием как политике и правовой системе, так и экономике, понимаемой как система рыночных операций, основанная на конкретных ценах.

В области окружающей среды общие издержки, связанные с ущербом, состоят из разных составных частей общей экологической ценности, как показано на рис. 1.5. Подобно отмеченному выше в отношении разнообразия природы внешних эффектов в различных сферах, в том числе и на внутреннем уровне в отношении окружающей среды, существует целый ряд ценностей совершенно различного качества. Некоторые из них, такие как прямая потребительская ценность в сельском, лесном или рыбном хозяйствах, вполне естественно подвержены денежному выражению в отличие от других, таких как наследуемая ценность и ценность существования. Однако именно третья категория (косвенная потребительская ценность и ценность альтернативного варианта) представляет наибольший интерес для экологов-экономистов, поскольку она позволяет применять методы, которые до сих пор применялись для аспектов окружающей среды, не имеющих ценовой оценки, в сфере четкого расчёта стоимости, где рассматриваемые товары, возможно, пока ещё не во всех случаях являются продаваемыми, но поддаются политическим действиям, таким как налоги Пигу, основанным на точных оценках ущерба.

Рисунок 1.5: Обзор ценностей окружающей среды



Для получения значений, соответствующих общим объёмам затрат, связанных с ущербом для окружающей среды, существует пять основных подходов. Четыре из них являются технико-

экономическими методами, а один основывается непосредственно на существующих рыночных ценах. Эти методы будут рассмотрены кратко, поскольку они широко обсуждаются в других работах (например, см. исследования Фримэна (*Freeman*, 1979) или ОЭСР (1994)).

Первый подход основан непосредственно на ценах, наблюдаемых на рынке, и касается ущерба от производства и потребления энергии рыночным товарам или, другими словами, товарам, для которых существует денежная оценка. Сюда будет входить материальный ущерб зданиям и мостам, потери фермеров из-за ухудшения состояния окружающей среды и ущерб для коммерчески используемых лесов. Типичным примером являются регулярные и дорогостоящие ремонтные работы с пескоструйной очисткой от сажи, скопившейся в результате загрязнения воздуха, которым подвергаются жилые дома в Париже. Другим примером служат затраты на здравоохранение, по меньшей мере часть которых легко поддаётся расчёту благодаря медицинским счетам. Строго говоря, данный ущерб не является проблемой общественных благ, но касается пробелов в системе ответственности существующей правовой базы или возникает в результате неспособности выявить соответствующие причинно-следственные связи или определить ответственных за возникновение причины. С увеличением объёма информации и ужесточением правовых норм такие внешние эффекты могут исчезнуть. В то же время данные внешние эффекты наиболее легко поддаются количественной оценке и зачастую они наиболее эффективно используются в общественных обсуждениях.

Оставшиеся четыре метода делятся на две группы. Первые три являются методами косвенной оценки, которые пытаются на существующем рынке получить значения ущерба с точки зрения внешних издержек путём наблюдения за поведением тех, на ком сказывается его влияние. Четвёртый метод представляет собой метод прямой оценки, который пытается определить предпочтения, касающиеся общественных благ, с помощью вопросников. Преимущество методов косвенной оценки заключается в том, что они полагаются на реально наблюдаемое поведение (выявленные предпочтения) и, таким образом, не подвержены стратегическому поведению; в то же время они в основном предоставляют информацию об общественных благах, которые тесно связаны с рыночными товарами, и должны делать серьёзные предположения об этих связях.

Метод прямой оценки с помощью вопросника (также называемый методом условной оценки) обладает огромным преимуществом, заключающимся в том, что любую желаемую информацию можно (по крайней мере, в принципе) искать непосредственным образом. Это касается, в частности, наследуемой ценности и ценности существования, т. е. желания сохранить части окружающей среды для будущих поколений без каких-либо преимуществ с точки зрения прямых или косвенных потребительских ценностей. Огромным недостатком метода условной оценки является то, что запрашиваемая таким образом информация может быть необъективной (поскольку люди ожидают преимуществ от предоставления ложной информации) или что сами опрошиваемые не имеют до конца сформированных предпочтений для предоставления полезной информации. Как упоминалось ранее, проблема может быть связана с природой самого внешнего эффекта.

Общеизвестной необъективностью является завышенная оценка готовности платить за экологические ценности, например, когда респондентов спрашивают об их предпочтениях в гипотетических ситуациях, например: «Сколько вы готовы заплатить для обеспечения долгосрочного выживания значительной популяции слонов в Африке?» Многие респонденты будут указывать суммы, намного превышающие те, которые они фактически потратили бы в реальной жизни. Также на этом примере хорошо видно, что, перечисляя большое количество особо ценных видов животных, общие суммы могут легко превысить доступные бюджеты. Кроме того, результаты лабораторных экспериментов с предварительно отобранными респондентами (в основном студентами-экономистами) привели к гораздо более высокому уровню стратегического поведения, чем тот, который фактически превалирует в реальных условиях (см. более подробное описание многих критических замечаний по условной оценке в работе Даймонда и Хаусмана (*Diamond and Hausman*), 1994). Использование расширенных вопросников, которые часто напоминают об общих бюджетных ограничениях и альтернативных категориях расходов (например, жильё, питание, транспорт и отдых), может быть полезным, равно как и переход от прямых вопросов, требующих абсолютных значений, к пошаговым ответам «да-нет», что может даже превратиться в полномасштабное моделирование выбора, когда исследователи представляют различные чётко определённые альтернативы, включая существующее положение вещей, из которых респондентов просят выбрать.

Тем не менее, использование методов оценки заявленных предпочтений на основании вопросников или методов условной оценки в последние годы сократилось. Данные методы сталкиваются с фундаментальной проблемой, заключающейся в том, что экономическое поведение и экономический анализ основываются не на том, что люди думают, что они делают, или на том, что они хотели бы делать, а на том, что они *на самом деле* делают, может быть неосознанно и без особых размышлений, но в виде полностью выполненных денежных сделок. Подробный обзор преимуществ и недостатков условной оценки см. в отчёте уполномоченной комиссии Национального управления океанических и атмосферных исследований по вопросам условной оценки за 1993 год (*NOAA Blue Ribbon panel*) (Эрроу и др. (*Arrow et al.*, 1993).

Три метода косвенной оценки включают метод установления цены с учётом комфортности окружающей среды, метод транспортно-путевых затрат и выявление перекрёстной эластичности цен между общественными и частными благами. Ввиду их зависимости от существующих рынков частных благ, их также называют методами «замещающих рынков». Метод установления цены с учётом комфортности окружающей среды предполагает, что определённые общественные блага, такие как тишина, хороший обзор, близость к озеленённой территории или качество воздуха, непосредственно включаются в стоимость частных благ, таких как жильё или имущество (отсюда и название). Таким образом, стоимость дома в простейшем случае зависит от его размера, года постройки и отсутствия социальных издержек, таких как шум или загрязнение. Последние факторы в настоящее время могут быть определены в полной мере. Если включить дополнительный вопрос касающийся, например, строительства местного аэропорта, расстояние до аэропорта является вполне адекватным показателем фактического нежелательного фактора, при этом проведения сложных измерений не требуется. После определения соответствующей системы показателей и сбора достаточно большого количества образцов всё, что нужно сделать – это провести регрессионный анализ цен на жильё согласно различным независимым переменным (например, размер, год постройки дома и расстояние от аэропорта), чтобы получить коэффициент, который связывает изменение, скажем, уровня шума или качества воздуха с изменением цен на жильё. Таким образом, усреднение результатов и умножение их на соответствующее количество людей, испытывающих на себе воздействие внешнего эффекта, обеспечивает предварительную оценку потерь, понесённых вследствие определённых видов социальных издержек.

Теоретически простой метод установления цены имущества с учётом комфортности окружающей среды требует устранения трудностей при сборе данных. В этой связи он часто ограничивается оценками производства и потребления электроэнергии по ценам на жильё на рынке недвижимости. Разумеется, в рамках установления цены с учётом комфортности окружающей среды охватывается лишь часть социальных издержек, которые отображаются в ценообразовании на жильё, а не в более широком воздействии на население, проживающее в отдалении от соответствующего региона или не вовлечённое в рынок жилой недвижимости. Кроме того, необходимо отделить эффекты дохода от эффектов общественных благ, например, принимая во внимание тот факт, что дома, расположенные в хорошей местности по отношению к рассматриваемым внешним издержкам, как правило, больше по размеру и более высокого качества. Тем не менее, для ограниченного количества чётко определённых и измеримых общественных благ этот метод может позволить определение нижнего предела общих социальных издержек. Аналитически идентичным является расчёт подразумеваемой стоимости рисков для жизни и здоровья работников на основании различий в заработной плате (см. вставку 1.2).

Посредством метода транспортно-путевых затрат предпринимается попытка оценить общественные блага на основании различной стоимости, которую в различных географических зонах люди готовы платить, чтобы получить к ним доступ. Таким образом, цена общественного блага – это стоимость во временном и денежном выражении, которую выплачивают люди, живущие в разных регионах на различных расстояниях от места расположения общественного блага. Для каждой зоны выполняется расчёт средней стоимости. Количество посещений из каждой зоны и соответствующие расходы отображены в виде точки на кривой спроса. Область под кривой спроса – это излишек потребителя и, следовательно, стоимость общественного блага. Без сомнения, данный метод может использоваться только для локально точно ограниченных общественных благ, например, туристических объектов, мест отдыха и развлечений, национальных парков и т. п., но в этих случаях он зарекомендовал себя как часто используемый и достаточно надёжный инструмент.

Вставка 1.2: Конфликтный вопрос – Оценка статистической жизни

Одним из наиболее важных вопросов в оценке социальных издержек является оценка возросших затрат в связи с заболеваемостью и смертностью. Это касается не ценности жизни человека для него самого и для тех, кому он близок, а стоимости предельного снижения риска заболеваемости или смертности. Это абсолютно разные вещи, поскольку здесь вводится понятие взаимозаменяемости в предельном выражении, которого не существует для человека, столкнувшегося с вопросом жизни и смерти. Готовность платить (ГП) для человека, который может оказаться в смертельной опасности, основывается на совершенно иных мотивах в сравнении с ГП покупателя автомобиля, который рассматривает вопрос о том, стоит ли платить за дополнительный комплект подушек безопасности, который снижает риск смерти и травм в случае определённой аварии. С технической точки зрения, стоимость статистической жизни (ССЖ) указывает на ГП человека по обеспечению предельного снижения риска смертности или заболеваемости.

ССЖ также может восприниматься как денежная стоимость, которую группа людей хотела бы выплачивать за предотвращение случайной смерти одного из её членов. Часто основанием являются результаты оценок, полученные на рынках труда, предполагающие, согласно результатам исследований, что интернализация вредных условий производства производится посредством повышения предельной заработной платы (ОЭСР, 2012). Оценки ССЖ, как правило, сочетаются с выявленными предпочтениями на основании фактического экономического поведения людей и тесно связаны с методом установления цены с учётом комфортности окружающей среды. Расчётные коэффициенты по регрессии для каждого атрибута, например, риска аварии по определённому типу профессии, будут указывать предельную ГП для каждого атрибута. Разумеется, субъективное восприятие риска может не соответствовать фактическому риску. Например, разрушительный, вызывающий множество последствий единичный случай, такой как землетрясение, и более распространённое и постоянно присутствующее явление, такое как загрязнение воздуха, могут приводить к одинаковым показателям смертности, но люди не обязательно соглашаются с одинаковым предельным увеличением дохода по риску смертности по отношению к каждому из этих рисков. Камерон (*Cameron, 2010*) точно отмечает: «ССЖ» – это не какая-то истинная, но неизвестная фундаментальная константа природы, которую нам просто нужно измерять более точно. На самом деле, «ССЖ» является результатом попытки найти удобную универсальную меру соответствия требованиям по снижению риска, число, которое может подходить или не подходить для различных типов рисков или различных затронутых групп населения».

Разумеется, вопрос заключается в том, существует ли лучшая альтернатива. В некоторых исследованиях используются не методы выявленных предпочтений, а происходит возврат к методу заявленных предпочтений, т. е. к методу условной оценки со всеми известными оговорками. В конечном счёте предпосылка ГП в качестве предельной общественной выгоды для снижения определённых социальных издержек прочно обоснована в экономической теории. ССЖ, распространение показателя ГП на область оценки стоимости риска смертности также охватываются экономической теорией. Тем не менее, следует избегать понятия единой «истинной ССЖ» для отражения различного контекста и восприятия риска ущерба. Готовность платить за снижение риска не распределяется равномерно по группам населения, а предельная ГП за снижение риска не всегда одинакова для всех людей. В литературных источниках представлено много примеров, которые показывают, что работники, занимающие должности с высокой степенью риска, в среднем относятся к категории с более низким уровнем ССЖ. Степень индивидуальной ГП за сохранение здоровья также увеличивается вместе с доходом. По оценкам Вискузи и Олди (*Viscusi and Aldy, 2003*), ССЖ характеризуется эластичностью дохода от 0,5 до 0,6. По эмпирическим оценкам также просматривается обратная U-образная связь между возрастом и ССЖ; другими словами, значения ССЖ увеличиваются до среднего возраста, а затем начинают снижаться (ОЭСР, 2012). Несмотря на неопределённость и оговорки, по результатам мета-исследования ССЖ, проведённого ОЭСР, установлен диапазон ССЖ для среднестатистического взрослого, который составляет от 1,5 до 4,5 млн долларов США. Рекомендуемое базовое значение составляет 3 млн долларов США (ОЭСР, 2012).

Проблемы могут быть ещё более сложными, когда речь заходит о заболеваемости. Как отмечает ОЭСР (2014), «в современной экономике нет... стандартного метода, с помощью которого можно определить объём затрат в связи с заболеваемостью от определённого источника». В то время как часть издержек, связанных с заболеваемостью, таких как потеря трудоспособности или стоимость госпитализации, можно точно определить на основании имеющихся данных, другие понятия, такие как годы жизни, скорректированные по нетрудоспособности (*DALY*), или стоимость потерянных лет (*VOLY*), совокупность экономических затрат в связи с заболеваемостью и смертностью, являются более неустойчивыми. Также существует риск двойного наказания людей, испытывающих на себе влияние социальных издержек, например, от загрязнения воздуха, заключающегося в рассмотрении их смерти от такого загрязнения как менее значимой, поскольку метод *DALY* характеризуется более низким значением снижения риска смертности пожилых людей, живущих в неоптимальных условиях. Это текущие проблемы, при которых экономические исследования затрат, связанных с заболеваемостью, по-прежнему должны быть направлены на определение общепринятого показателя заболеваемости, который был бы сопоставим с ССЖ, установленной для определения социальных издержек в связи с повышенным риском смертности в контексте учёта полных затрат.

Последней формой косвенной оценки стоимости общественных благ является использование известного метода замещения между частными и общественными благами. Если предположить, что

безопасность является общественным благом для определённого сообщества и что удвоение количества полицейских приведёт к такому же снижению уровня преступности, как и установка частных охранных сигнализаций, можно рассчитать стоимость общественного блага. Разумеется, любое частное благо будет охватывать только определённые аспекты общественных благ, но с учётом этой (очень важной) оговорки, связь с частными благами может быть полезна для окончательной оценки.

В предыдущих пунктах подчёркивалась сложность получения значимой информации о стоимости общественных благ, подверженных влиянию внешних эффектов, связанных с энергетикой. Однако, это не должно приводить к чрезмерной критике оценок, полученных с помощью описанных инструментов. Во многих случаях, связанных с принятием политических решений, для выбора соответствующей формы вмешательства со стороны правительства достаточно приблизительных данных о порядке величин. Наличие ступенчатых функций по капиталовложениям в охрану окружающей среды со стороны предприятия и биофизическим связям с возможными пороговыми значениями в отношении пострадавшей стороны также часто приводит к ситуациям, когда требуется достижение консенсуса относительно вопроса, находится ли значение ниже или выше соответствующего порогового значения. Безусловно, информационная проблема, связанная с внешними эффектами и их воздействием на общественные блага, существует и серьёзным образом затрудняет их интернализацию. Однако в итоге, потенциальные ошибки в распределении ввиду неполной информации должны быть сопоставлены с издержками при бездействии.

Вопрос денежного выражения экологических внешних эффектов достиг пика в 1990-х годах, когда большое количество исследователей проводило активную деятельность в этой области. Отчасти из-за изобретения методов, описанных выше, отчасти из-за вновь появившихся опасений по поводу социальных издержек на производство и потребление электроэнергии, начиная с местного загрязнения воздуха, связанного с изменением климата, и заканчивая надёжностью электроснабжения, было обеспечено финансирование и выполнение ряда крупномасштабных исследований по внешним издержкам на энергию. Таким образом, в 1995 году было опубликовано три основных исследования по определению социальных издержек, связанных с внешними эффектами производства электроэнергии:

1. *ExternE: «Внешние издержки на энергию» (The External Costs of Energy)*, координирование и финансирование было обеспечено Европейской комиссией.
2. «Оценка внешних эффектов топливного цикла» (*Estimating Fuel Cycle Externalities*), координирование было обеспечено Национальной лабораторией Оук-Ридж (ORNL), а финансирование Министерством энергетики США (МЭ США).
3. «Исследование издержек, связанных с экологическими внешними эффектами в штате Нью-Йорк» (*New York State Environmental Externalities Cost*), координирование было обеспечено RCG/Hagler Bailly, а финансирование Управлением по исследованиям и разработкам в области энергетики штата Нью-Йорк, Корпорацией по исследованиям в области электроэнергетики Эмпайр Стейт и Научно-исследовательским институтом электроэнергетики (EPRI).

Несколькими годами ранее, в 1990 году, Центром эколого-правовых исследований Университета Пейс (1990) уже было проведено исследование «Экологические издержки на электроэнергию» (*Environmental Costs of Electricity*). Все эти исследования являются частью первого этапа учёта социальных издержек, объединившего широкое сообщество компетентных и целеустремленных исследователей.

Даже если общественная и политическая обеспокоенность по поводу внешних и полных затрат на энергию и электроэнергию с тех пор возросла, во всяком случае, мало что изменилось с точки зрения совершенствования методологии или систематического эмпирического анализа. Недавними работами по обеспечению комплексной оценки внешних затрат на энергию являются проекты NEEDS и оценки затрат в системах устойчивой энергетики (CASES), финансируемые Европейской комиссией (см. также Маркандья и др., (*Markandya et al.*, 2011)). В частности, в рамках проекта CASES детальные оценки внешних издержек для различных технологий производства электроэнергии публикуются на веб-сайте Фонда Энрико Маттеи в Италии (FEEM). Обзор результатов представлен в табл.1.3. Данные результаты обобщают множество недавних оценок внешних издержек, касающихся различных типов генерации электроэнергии, сделанных благодаря комплексным международным усилиям.

Таблица 1.3: **Краткий обзор оценки внешних издержек европейского проекта CASES***
(2005-2010 гг., в евро/МВт)

	Атомная энергетика	Угольная, ПГУ с внутрицикл. газиф.	Лигнитовая, ПГУ с внутрицикл. газиф.	Газ, КПГУ	Гидро-энергетика (дамбы)	Ветряная наземная	Ветряная морская	Фотоэл. солнечная	Биомассовая (солома)	Биомассовая (древесина)
Здоровье населения	1,55	8,35	3,84	4,24	0,57	0,75	0,72	6,58	15,55	4,64
Сокращение биоразнообразия	0,09	0,79	0,32	0,52	0,02	0,04	0,03	0,34	2,94	0,49
Вред для зерновых (N, O ₃ , SO ₂)	0,02	0,15	0,04	0,12	0,01	0,01	0,01	0,07	0,10	0,13
Материалы (SO ₂ , NO _x)	0,03	0,11	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,09	0,12	0,07
Радионуклиды	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Климатические изменения	0,43	17,6	19,57	8,97	0,16	0,21	0,17	1,81	1,46	1,20
Итого	2,14	26,96	23,80	13,93	0,76	1,03	0,94	8,88	20,17	6,54

N: азот; NO_x: окислы азота; O₃: озон; SO₂: двуокись серы.

* Настоящую таблицу не следует рассматривать как показатель определённого согласованного понимания внешних издержек на электроэнергию. В учёт внешних издержек, по его природе, всегда найдётся место для альтернативных точек зрения. Например, уголь выделяет большее количество радионуклидов, чем атомная энергетика. Результаты оценки влияния гидроэнергетики на биоразнообразии кажутся низкими при сопоставлении с неофициальными данными. Такая неопределённость указывает на то, что требуется более систематическое, а также значимое с политической точки зрения исследование внешних издержек на производство электроэнергии.

Источник: по материалам FEEM, 2011.

Конечно, такие усреднённые цифры, основанные на функции «концентрация-эффект», дают только предварительную оценку. В частности, в них не учитываются разные уровни неприятия риска, которые некоторые ассоциируют с разными типами риска. Исследования показали, что уровень неприятия риска значительно выше в ситуациях, когда люди не контролируют события самостоятельно, по сравнению с ситуациями, в которых они сами могут в некоторой степени влиять на вероятность, например, при управлении автомобилем.

Неприятие риска также имеет значение при выборе структур риска. Цену риска обычно рассчитывают как произведение затрат, связанных с ущербом, и вероятности его реализации. На данный момент неприятие риска подразумевает, что люди скорее предпочли бы аналогичную цену риска, если бы она состояла из относительно высоких уровней вероятности реализации, и относительно низкую стоимость ущерба, чем наоборот. Другими словами, при равных затратах люди предпочли бы постоянные источники опасности и неблагоприятные воздействия выбросов твёрдых частиц на здоровье низкой вероятности катастрофического события, такого как ядерная авария или пожар на нефтеперерабатывающем заводе. Конечно, такое восприятие изменится сразу же, как только выбросы твёрдых частиц приведут к серьёзным заболеваниям и росту смертности.

Динамический характер внешних эффектов

В предыдущем разделе приводились некоторые свидетельства находчивости и изощренности, с которыми экономисты подходят к проблеме информации, которую необходимо решить для реализации пигувианской парадигмы либо посредством ценовых, либо количественных измерений. Однако существуют формы социальных издержек, попытки оценки которых в количественном и денежном отношении безрезультатны. Как указывалось ранее, внешние или социальные издержки являются «внешними», т. е., они не подвергнуты интернализации, не имеют цены и, следовательно, выражаются в неоптимальных количествах, поскольку рынки для них отсутствуют. Отсутствие рынков объясняется именно отсутствием нормирования касательно как биофизических отношений, так и формирования экономических предпочтений. Информационная проблема, таким образом, присуща самому понятию внешних эффектов.

Всё это вообще не так уж и удивительно. Во многих случаях внешние эффекты существуют, потому что они только недавно возникли как новые и связанные с политикой явления. В связи с этим считается, что они оказывают воздействие на благополучие населения, но оценить их величину невозможно. В некоторых ситуациях даже неясно, положительно ли их влияние или отрицательно. В качестве примеров могут послужить воздействие магнитных полей, окружающих наземные линии, или возможность импорта дешевой электроэнергии из определённой страны. Результат любой попытки выразить эти факторы влияния обязательно будет неточным, а любая попытка выразить их в количественном или денежном отношении будет бесполезной.

Несмотря на уклончивость этих вопросов от стандартного экономического обоснования, тем не менее, они действительно оказывают влияние на восприятие и эмоции людей, воздействуют на их благополучие и, следовательно, их необходимо рассматривать как внешние эффекты. Осознание этого, вызванное зачастую оригинально мыслящими личностями и группами людей с радикальными взглядами в вопросах продолжающейся социальной полемики, является первым шагом в процессе интернализации. Внешний эффект определяется как что-либо, чего ранее не существовало, что-то неправильно понимаемое, и то, что требует обсуждения для выработки консенсуса относительно того, какую информацию необходимо собрать и каких стратегий интернализации следует придерживаться. Системные эффекты переменчивых возобновляемых источников энергии, несмотря на их упоминание здесь в отдельной категории, представляют собой прекрасный пример такой прогрессивной организации поисков концептуальных и организационных мер реагирования.

Этим временным аспектом внешних эффектов объясняется, почему они так тесно связаны с дебатами о техническом прогрессе. Новые технологии порождают новые эффекты и воздействия, многие из которых невозможно предсказать и, таким образом, невозможно учесть при формировании их концепции и реализации. Следовательно, внешний эффект – это воздействие нового процесса на аспекты жизнедеятельности, которому ранее не уделялось внимания. Само собой разумеется, что новые воздействия существующих технологий, например, накопление хорошо известных эффектов, приводящее к качественно новым воздействиям, порождают аналогичные эффекты.

Точно так же изменения предпочтений могут породить «новые» воздействия. Даже если физически они не новы, они представляют собой новые явления по отношению к общественному восприятию и благополучию отдельных лиц. Несомненно, рост стандартов жизни в промышленно развитых странах внёс свой вклад в рост обеспокоенности вопросами, связанными с окружающей средой, которые выходят за пределы измеряемых физических, химических или биологических типов воздействия. Даже если природа сама по себе в равной степени принадлежит всем людям, с точки зрения эконометрики, качество окружающей среды – это предмет роскоши, спрос на который растёт непропорционально доходу. Это не должно вести к рассмотрению таких проблем как менее реальных.

Впервые идентификация нового внешнего эффекта зачастую происходит посредством усилий групп, выражающих идеи вне основных общественных тенденций. Если данный внешний эффект станет настоящей проблемой для больших социальных групп, будет продолжена работа над первоначальными утверждениями, запрошена информация, сформированы индивидуальные и общественные предпочтения относительно определённых параметров. Впоследствии требования его интернализации перерастут в изменения в общественном мнении, политическом процессе или правовой системе. Это давление приведёт к более конкретным исследованиям и, в конце концов, к внедрению соответствующих стимулов для интернализации.

С достаточно долгосрочной точки зрения, внешние эффекты можно рассматривать как явления временные. Отнюдь не все и, вероятно, даже не большинство внешних эффектов, определяемых отдельными людьми или малыми группами, вливаются в основные тенденции, а только те, которые фактически отрицательно воздействуют на благополучие достаточного количества людей достаточно сильно, чтобы гарантировать более широкую обеспокоенность. В противном случае интерес быстро пропадает.

Показательный пример – международные усилия по снижению выбросов углекислого газа для уменьшения рисков, связанных с изменениями климата. Ещё несколько десятилетий назад за углекислым газом – недовитым газом без запаха – не было закреплено никаких отрицательных ассоциаций. Группы людей с радикальными взглядами первыми забили тревогу и оказали давление для проведения дополнительных исследований. Дополнительные изыскания подтвердили, по крайней мере, что обеспокоенность была обоснованной. Это привело к ещё большему количеству исследований, расширению полемики о рисках, вероятностях ущерба и затратах и, наконец, к первым шагам в сторону интернализации. Такие учреждения, как Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК) и Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), а также десятки национальных исследовательских институтов способствовали продвижению этого процесса. В 2015 году 194 государства подписали Парижское соглашение с обязательствами, нацеленными на поддержание глобального объёма углеродосодержащих выбросов на уровне, совместимом с повышением глобальной температуры не более чем на 2°C. В сравнении с другими примерами социальных издержек (можно вспомнить о табакокурении или концентрации свинца в питьевой воде) развитие этого процесса шло достаточно быстро.

Полемика о выбросах углекислого газа также объединила три важных элемента любой «интернализации» эффектов, по которым до сих пор отсутствуют устойчивые предпочтения, т. е., СМИ, правовую систему и политический процесс. В данном контексте правовая система рассматривается в очень широком смысле, охватывающем цели по эффективности и технические регламенты. Во-первых,

существуют общественное осознание и формирование общественного мнения благодаря средствам публичной коммуникации. Это могут быть коммерческие средства коммуникации, такие как телевидение или газеты, а также некоммерческие средства формирования общественного осознания, такие как массовые шествия, сидячие демонстрации, публичные выступления и тому подобное. Отметим ещё раз, информация – первый шаг к интернализации внешних издержек.

Во-вторых, существует возможность интернализации посредством судебных процессов, благодаря чему может быть наложена ответственность или добавлены меры по снижению уровня выбросов. Таким образом, данный набор вариантов выбора преобразуется в новые варианты, содержащие большую долю общественной обеспокоенности. Интересна аналогия между правовым подходом к интернализации и подходом Коуза, упомянутым выше. Любое судопроизводство, касающееся интернализации, может быть предпринято только при наличии полной правовой системы, определяющей права и обязанности, на основании которых могут быть сформированы рекомендации или постановления суда. Сферы без правового оформления делают невозможной интернализацию посредством правовой системы. Во многих случаях необходимым первым шагом интернализации является определение правовой ответственности.

Третий способ интернализации – это политический процесс. Безусловно, эта сфера тесно связана с предыдущими двумя. В литературе по социальному выбору были подробно рассмотрены механизмы голосования, обычно при условии принятия существующих неизменных предпочтений. В этом контексте термин «политический процесс» надлежит понимать в более широком смысле, охватывающем те процессы формирования общественного мнения, научных знаний, принятия решений, лишь относительно малой частью которых является само голосование. Политический процесс также может выступать средством интернализации, если, например, политические партии трансформируются или, другими словами, считают необходимым произвести интернализацию определённых общественных опасений (например, связанных с окружающей средой) в своих программах.

Таким образом, две предыдущие стратегии по интернализации, названные по именам их создателей – Пигу и Коуза, стали частью более широкого процесса. В данном контексте развитие и реализацию такого экономического инструмента, как «зелёный налог», можно рассматривать как конечную точку выражения новоразвившихся предпочтений. Аналогичным образом развитие прав собственности или возникновения необходимости в них являются результатом восприятия блага, относительно которого права собственности надлежит рассматривать как имеющие стоимость. Таким образом, любая интернализация – это просто результат непрерывного процесса гармонизации предпочтений разных общественных групп.

1.4. Выводы

Затраты на энергию, в частности, на производство электроэнергии, состоят из трёх категорий со снижающейся экономической и концептуальной стабильностью: издержки на уровне электростанции, системные издержки на уровне сети, а также внешние социальные издержки и издержки, связанные с окружающей средой. Естественно, это не означает, что одна категория менее важна, чем другая. Социальные издержки, связанные с загрязнением атмосферы, могут однажды превзойти любые другие затраты на производство. В некоторых случаях системные издержки на уровне сети уже сегодня достаточно велики и вытесняют на второй план вопросы о различиях в издержках на уровне электростанции (см. рис. 3.3 в главе 3).

Таким образом, лица, определяющие энергетическую политику, пытающиеся оптимизировать энергетические системы на основе полного учёта затрат, должны действовать в трёх направлениях одновременно. Однако, для каждой категории подходят инструменты, которые сильно различаются между собой (см. политические выводы на с. 201). Что касается издержек на уровне электростанции, задача состоит в том, чтобы обеспечить существование соответствующей рыночной структуры, в рамках которой частные субъекты экономической деятельности производят выбор экономически эффективного сочетания технологий. В области системных издержек на уровне сети, относительно новой области исследований и политического интереса, задача состоит в том, чтобы разработать показатели для оценки системных издержек на уровне сети и произвести их интернализацию с помощью мер, которые максимально ограничат издержки всей системы в определённых условиях надёжности энергоснабжения и ограничений по выбросам двуокиси углерода. Это подразумевает учёт издержек на резервирование, выравнивание нагрузок, а также увеличение издержек на сети электропередачи и распределительных сетей. В зависимости от выбранных сопутствующих мер, например, форм поддержки переменчивых возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия, изменяется сфера принятия децентрализованных частных решений. Тем не менее, некоторые решения неизбежно придётся принимать централизованно на уровне системы.

Внешние социальные издержки являются в наименьшей мере нормированными и наиболее живо обсуждаемыми элементами полных затрат энергетической системы. В предыдущих разделах подробно обсуждались фундаментальные проблемы, которые они представляют для нормирования и выражения в денежной форме. Само собой разумеется, что данные трудности не уменьшают ни их экономической значимости, ни высокой степени их приоритетности, которые они, как правило, имеют в ходе политических дебатов. Несмотря на то, что экономистами разработан полный набор инструментов для разрешения различных проблем, связанных с социальными издержками в энергетическом секторе, наиболее важной характеристикой последних может быть их динамическая природа. Другими словами, часто важнее создать общественные институты и правила, которые устанавливают рамки процесса интернализации, чем предлагать уже готовые решения.

Целью настоящего отчёта не является дать готовые ответы на сложные вопросы, которые, неизбежно, будут решены в разных странах по-разному. Целью является объединение в одной публикации самой последней информации о порядке величины издержек разных категорий, а также о главных проблемах и наиболее многообещающих перспективах для эффективной интернализации. Здесь представляется обзор последнего исследования, касающегося полных затрат на производство электроэнергии, оценённых АЯЭ при поддержке экспертов из стран-участниц ОЭСР и МЭА. В следующих главах коротко представлены данные этого исследования для следующих категорий затрат:

Прямые экономические воздействия

- производственные издержки на уровне электростанции;
- системные издержки на уровне сети.

Воздействия на окружающую среду и здоровье населения

- изменения климата;
- загрязнение воздуха;
- издержки, связанные с крупными авариями;
- землепользование и истощение ресурсов.

Социальные и непрямые экономические воздействия

- надёжность энергоснабжения;
- воздействия на занятость и региональную связность;
- побочные эффекты, оказывающие положительное воздействие на инновацию и рост.

Неоднократно указывалось, что проблема внешних эффектов тесно связана с коммуникационными барьерами между различными вовлечёнными сторонами. Все экономические инструменты в конечном итоге используются в попытке достичь множественной цели: передать информацию о полных затратах тем, кто способен контролировать их уровень, для достижения оптимальных результатов с точки зрения выбора и сочетания различных технологий.

Всё, что может сделать научная, экономическая и техническая дискуссия, заключается в представлении проблемы и рассмотрении соответствующих параметров. Поскольку исследование социальных и полных издержек на производство электроэнергии само указывает на трудности точного достижения оптимальных результатов, было бы странно, если бы настоящий отчёт претендовал на свою способность дать окончательные ответы. Решения о том, когда и каким образом производить интернализацию, должны приниматься самими заинтересованными сторонами, основываясь на конкретных обстоятельствах, доступных знаниях и возможных наилучших усилиях.

Энергетический сектор играет важную роль в данной области. Не только потому, что он вносит свой вклад посредством воздействия на полные затраты, но также и потому, что он занимает центральное место в экономической деятельности промышленно развитых стран, он всегда будет предметом оценочных суждений за пределами своих измеримых физических эффектов. Ради собственного и общественного благополучия энергетический сектор должен взаимодействовать со всеми заинтересованными сторонами для поиска решений, которые отличались бы устойчивостью не только

в экологическом, но и в экономическом и политическом аспектах. Достоверная информация является обязательным первым шагом в этом процессе.

В таком случае важным вопросом является то, принимаются ли решающие меры частными субъектами экономической деятельности или правительственными органами. В предыдущих разделах указывалось, при каких условиях действия частных лиц или действия правительств будут наиболее эффективными. Тем не менее, полезно подчеркнуть взаимодополняемость двух типов действий, а не их противоположность. Действия частных субъектов экономической деятельности, какими их представлял Коуз, должны поддерживаться правительственными органами, разграничивающими и наделяющими правами на частную собственность в новых сферах. В свою очередь, правительственный орган, стараясь контролировать уровень выбросов, для оптимизации политики должен полагаться на информацию, предоставляемую частными субъектами экономической деятельности.

Кроме того, следует помнить о связи между статической и динамической оптимизацией. В вышеприведённом представлении экономической теории внешних эффектов упор неизбежно делается на статическую оптимизацию. Инструменты для статической оптимизации являются наиболее полезными при работе с товарами, для которых чётко сформулированы предпочтения, и которые тесно связаны с идентифицируемыми производственными процессами. По-прежнему для множества внешних факторов данная степень информационной точности является труднодостижимой. Статическая оптимизация также является фактической интернализацией. Она не даёт возможности решить проблему внешних эффектов на ранних стадиях их существования.

Таким образом, необходимо создать дополнительные институциональные инструменты, которые не только вносят корректирующие действия, основываясь на опыте прошлого, но и предусматривают появление определённых проблем заранее. Консультации с заинтересованными лицами на этапе планирования, переговоры за круглым столом, обмен данными, поддерживаемые правительством добровольные соглашения, общественные слушания, внесение изменений в юридические и корпоративные правовые нормы для расширения внешних ресурсов, всё это даёт возможность устранения проблемы внешних эффектов *прежде*, чем они будут оказывать значительное влияние на благосостояние.

Возвращаясь к статической оптимизации, важным моментом является сравнение «экономических инструментов» с «административно-контрольными мерами». Необходимо напомнить, что их следует рассматривать как взаимодополняющие, а не противопоставляемые, каждый из них полезен при определённых обстоятельствах. Экономические инструменты известны своей высокой эффективностью, что, кроме того, можно сказать и об административно-контрольных мерах (например, нормах или актах технического регулирования). С другой стороны, экономические инструменты часто более прозрачны в отношении затрат, так как последние не приходится искать в технических руководствах.

После принятия утверждения о том, что внешние эффекты являются ошибками коммуникации, трёхэлементная структура «информация, коммуникация, реализация» становится руководящим принципом для интернализации внешних эффектов. Информация подразумевает идентификацию внешних эффектов как отрицательных воздействий на благосостояние. Сюда входит определение физических воздействий и документирование научных данных. Достоверные сведения способствуют отделению излишних опасений от настоящих проблем и могут использоваться для измерения издержек, связанных с ущербом, посредством анализа предпочтений тех, кто испытывает влияние внешнего эффекта.

Данный отчёт основывается именно на такой динамической логике. В области полных затрат достоверное исследование не заменяет решение, а облегчает его. Выделяя критические точки в каждой области и указывая источники для более подробного изучения, настоящий отчёт преследует цель возобновления дискуссии о полных затратах, которая после достижения своего пика в 1990-х годах, за исключением вопросов об изменении климата, в определённой степени исчезла с повестки дня политических дебатов. Тем не менее, системные издержки, атмосферное загрязнение, надёжность энергоснабжения и технический прогресс остаются масштабными и насущными проблемами, которые должны быть предметом постоянного внимания со стороны лиц, определяющих политику.

Список литературы

- Arrow, K.J. (1970), "The Organization of Economic Activity: Issues Pertinent to the Choice of Market versus Nonmarket Allocation", in Haveman R. and J. Margolis (eds.), Houghton Mifflin, Boston, *Public Expenditure and Policy Analysis*, pp. 67-81.
- Arrow, K.J., R. Solow, P.R. Portney, E.E. Leamer, R. Radner and H. Schuman (1993), "Contingent Valuation Methodology Report (Report of the NOAA Blue Ribbon Panel on Contingent Valuation)", *Federal Register*, Vol. 58, 15 January 1993, pp. 4602-4614.
- Baumol, W. and W. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy*, Cambridge University Press, New York, NY.
- Berg, M., B. Hartley and O. Richters (2015), "A stock-flow consistent input-output model with applications to energy price shocks, interest rates, and heat emissions", *New Journal of Physics*, Vol. 17(1), <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/17/1/015011/pdf>.
- Cameron, T.A. (2010), "Euthanizing the value of a statistical life", *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 4 (2), pp. 161-178.
- Coase, R.H. (1988), "Notes on the Problem of Social Cost", in Coase (1988), *The Firm, the Market and the Law*, Chicago University Press, Chicago, pp. 157-185.
- Coase, R.H. (1960), "The problem of social cost", *Journal of Law and Economics*, Vol. 1(1), pp. 1-21, reprinted in Coase (1988), *The Firm, the Market and the Law*, Chicago University Press, Chicago, pp. 95-156.
- Diamond, P. and J. Hausman (1994), "Contingent valuation: Is some number better than no number?", *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8 (4), pp. 45-64.
- EC (2005), *ExternE: Externalities of Energy*, Methodology 2005 Update, edited by P. Bickel and R. Friedrich, IER Universität Stuttgart, EC, Brussels and Luxembourg, www.externe.info/externe_d7/sites/default/files/methup05a.pdf.
- EC (1995), *ExternE: Externalities of Energy*, Vol. 1: Summary, Compiled by ETSU, EC, Brussels and Luxembourg, www.externe.info/externe_d7/sites/default/files/vol1c12.pdf.
- Ecofys (2014), *Subsidies and Costs of EU Energy: Final Report*, DESNL14583, by order of the EC, Brussels and Luxembourg.
- Enerpresse (2011), "L'Ontario ne sait plus quoi faire de son electricite", *Le quotidien de l'energie*, No. 10373, 27 July 2011.
- EPEX Spot (n.d.), EPEX Spot (web page), www.epexspot.com.
- FEEM (2011), www.feem-project.net/cases/downloads_presentation.php.
- Forsberg, C. (2012), *Rethinking the Nuclear Energy Role in a Carbon-Constrained World: Coupling Fuels and Electricity Production*, presentation at 2012 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP), American Nuclear Society, 24-28 June 2012, Chicago.
- Freeman, M. (1979), *The Benefits of Environmental Improvements: Theory and Practice*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- IEA (2016), *World Energy Outlook Special Report 2016: Energy and Air Pollution*, OECD, Paris.
- IEA (2011), *Harnessing Variable Renewables: A Guide to the Balancing Challenge*, OECD, Paris.
- IEA/NEA (2015), *Projected Costs of Generating Electricity (2015 Update)*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf.
- IEA/NEA (2010), *Projected Costs of Generating Electricity*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6819-projected-costs.pdf.

- Jackson, T., P. Victor, A. Asjad Naqvi (2016), "Towards a Stock-Flow Consistent Ecological Macroeconomics", *WWW for Europe: Work Package 205, Working Paper 114*, www.cusp.ac.uk/news/towards-stock-flow-consistent-macroeconomics.
- Keppler, J.H. (1998), "Externalities, fixed costs and information", *Kyklos*, Vol. 52(4), pp. 547-563.
- Keppler, J.H. (1996), "Public goods, infrastructure, subsidies and positive externalities: Some general considerations", in *Subsidies, Tax Expenditures and the Environment*, OECD, Paris, pp. 193-200.
- Keppler, J.H., K. Masuhr and H. Wolff (1992), *Die Externen Kosten der Energieversorgung*, Schaffer-Poeschel, Stuttgart.
- Kneese, A. and J. Sweeny (1985), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Oxford University Press, New York.
- Lind, R.C. and F.R. Ruskin (Eds.) (1982), *Discounting for Time and Risk in Energy Policy, Resources for the Future*, Research Gate, Washington, DC, www.researchgate.net/publication/236543934_Discounting_for_Time_and_Risk_in_Energy_Policy.
- Markandya, A., A. Bigano and R. Porchia (2011), *The Social Cost of Electricity: Scenarios and Policy Implications - Private and External Costs Assessment, Policy Implication and Scenarios for the EU and Selected non-EU Countries*, Edward Elgar, Cheltenham, www.e-elgar.com/redirect.php?id=13446.
- NEA (forthcoming a), *Climate Change: Assessment of the Vulnerability of Nuclear Power Plants and Adaptation Costs*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming b), *Estimation of Potential Losses Due to Nuclear Accidents*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming c), *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, OECD, Paris.
- NEA (forthcoming d), *System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*, OECD, Paris.
- NEA (2016), *Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decom-npp.pdf.
- NEA (2015), *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7208-climate-change-2015.pdf.
- NEA (2013), *The Economics of the Back end of the Nuclear Fuel Cycle*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2013/7061-ebenfc.pdf.
- NEA (2012a), *The Economics of Long-term Operation of Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/reports/2012/7054-long-term-operation-npps.pdf.
- NEA (2012b), *Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems*, Figure 4.1, p. 104, Table 4.8, p. 136, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2012/7056-system-effects.pdf.
- NEA (2010a), *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6861-comparing-risks.pdf.
- NEA (2010b), *The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6358-security-energy-sup.pdf.
- NEA (2007), *Risks and Benefits of Nuclear Energy*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2007/6242-risks-benefits.pdf.
- OECD (2016), *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*, OECD, Paris.
- OECD (2014), *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, OECD, Paris.

- OECD (2012), *Mortality Risk Evaluation in Environment, Health and Transport Policies*, OECD, Paris.
- OECD (1994), *Managing the Environment: The Role of Economic Instruments*, OECD, Paris.
- ORNL and RFF (1992-1998), *Estimating Externalities of Fuel Cycles*, 8 vols., ORNL and RFF, McGraw-Hill/Utility Data Institute, Washington, DC.
- Pace University Center for Environmental Legal Studies (1990), *Environmental Costs of Electricity*, Oceana, New York.
- Pearce, D.W. and R.K. Turner (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Harvester Wheatsheaf, London.
- Pearce, D.W., R.K. Turner and I. Bateman (1993), *Environmental Economics: An Elementary Introduction*, Pearson Education, Harlow.
- Pigou, A.C. (1912), *Wealth and Welfare*, Macmillan, London.
- Pollitt, H. and J.-F. Mercure (2015), "The Role of Money and the Financial Sector in Energy- Economy Models used for Assessing Climate and Energy Policy", C-EENRG Working Paper 2015-4, Cambridge University, Cambridge, www.ceenrg.landecon.cam.ac.uk/working-paper-files/wp04.
- RCG/Hagler Bailly (1994), *New York State Environmental Externalities Cost Study*, Empire State Electric Energy Research Corp, Albany.
- Scitovsky, T. (1954), "Two concepts of external economies", *Journal of Political Economy*, Vol. 62, pp. 143-151.
- UK Parliament Energy and Climate Change Committee (2012), *The Economics of Wind Power: Written Evidence*, London, www.publications.parliament.uk/pa/cm201213/cmselect/cmenergy/writev/517/517.pdf.
- USDOE/NREL and GE Energy (2010), *Western Wind and Solar Integration Study: Executive Summary*, p. 14, prepared for NREL, US DOE, Washington, DC, www.nrel.gov and <https://dx.doi.org/10.2172/979815>.
- Viscusi, K. and J. Aldy (2003), "The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates throughout the World", NBER Working Paper, www.nber.org/papers/w9487.
- WHO (2016), *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, WHO, Geneva, www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en.
- WNA (2016), *Energy Subsidies and External Costs*, WNA, London, www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-subsidies-and-external-costs.aspx.

Глава 2. Производственные издержки на уровне электростанции

2.1. Введение

В 1983 году Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) начало публиковать «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии», сравнивая затраты атомных электростанций (АЭС) и угольных электростанций. Данная публикация была обновлена в 1986 году. В 1989 году для публикации данного отчёта к АЯЭ присоединилось Международное энергетическое агентство (МЭА). Эти два агентства Организации экономического сотрудничества и развития обновляли отчёт в 1992, 1998, 2005, 2010 и 2015 годах для оценки затрат на производство электроэнергии для различных технологий. В указанных отчётах используются исходные данные, представленные странами-участницами в ходе исследования, проводимого экспертами по энергетическим технологиям, назначенными странами-членами (Экспертная группа по Прогнозируемым затратам на производство электроэнергии).

Целью серии исследований «Прогнозируемые затраты» является обеспечение надёжного ориентира для затрат на производство электроэнергии в разных странах-членах Организации экономического сотрудничества и развития и отдельных странах, не являющихся членами. Их целевой аудиторией являются политики, а также эксперты и разработчики моделей в сфере энергосистем, деятельность которых зависит от значимых показателей производственных затрат и моделей национальных и региональных секторов электроэнергетики. Цели этих двух аудиторий могут несколько различаться. Политики пытаются выдвигать меры, поддерживающие общий оптимальный в социальном отношении выбор технологий генерации, и, в отдельных случаях, учитывающие «полные» затраты на производство электроэнергии. В то время как некоторые энергетические модели преследуют точно такую же цель, другие модели пытаются прогнозировать, как электроэнергетические компании делают выбор в пользу той или иной технологии, поскольку они минимизируют затраты при условии полного удовлетворения спроса на электроэнергию или максимизируют прибыль с учётом ограничений рынка электрической энергии. При прочих равных условиях, методология, разработанная для «Прогнозируемых затрат на производство электроэнергии», направлена скорее на предоставление более значимой информации в отношении первого ряда вопросов, чем второго. В целом серия «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» является одним из немногих источников информации о затратах на производство электроэнергии на уровне электростанции в отношении различных технологий в разных странах.

В этой серии оценивается полная приведённая стоимость электроэнергии (LCOE, в некоторых изданиях называемая стоимостью производства электроэнергии – СПЭ (Экспертная группа EGC)), которая представляет собой стоимость производства электроэнергии на шинах электростанции для технологии базовой генерации. Показатель LCOE обозначает дисконтированные издержки на протяжении всего жизненного цикла, усреднённые по произведённой электроэнергии. Таким образом, показатель LCOE представляет собой удобный и прозрачный инструмент для оценки и сравнения различных технологий. Первоначально он был разработан для выбора инвестиционных решений на регулируемых рынках с монопольной энергокомпанией. Поскольку в показателе LCOE не отражаются специфические для технологии количественные или ценовые риски, а также риск банкротства, он менее значим в дерегулированных энергосистемах, где доходы и риски разных операторов могут существенно различаться в зависимости от технологии и периода в течение жизненного цикла генератора электроэнергии.

Одним из преимуществ методологии, использующей показатель LCOE, является её прозрачность и простота расчёта. Согласно изданию МЭА/АЯЭ (2015: с. 28):

[P]асчёт показателя LCOE начинается с уравнения (1), выражающего равенство между приведённым значением суммы дисконтируемых доходов и приведённым значением суммы дисконтируемых затрат, включая платежи инвесторам. Нижний индекс t обозначает год, в течение которого происходит продажа продукции или выплата издержек. Суммирование производится за период с начала подготовки к строительству до завершения демонтажа, включая текущее дисконтируемое значение будущих затрат на утилизацию отходов. Все

переменные являются фактическими, т. е. берутся без учёта инфляции. В левой стороне равенства находится дисконтированная сумма прибылей, а в правой — дисконтированная сумма затрат:

$$\sum P_{\text{МВт}\cdot\text{ч}} \cdot \text{МВт}\cdot\text{ч}_t \cdot (1+r)^{-t} = \sum (\text{Капитал}_t + \text{ЭиТО}_t + \text{Топливо}_t + \text{Углерод}_t + D_t) (1+r)^{-t} \quad (1)$$

где переменные имеют следующие значения:

- $P_{\text{МВт}\cdot\text{ч}}$ = постоянная суммы выплат поставщику за электроэнергию в течение жизненного цикла;
- $\text{МВт}\cdot\text{ч}_t$ = объём произведённой электроэнергии за год t в МВт·ч;
- $(1+r)^{-t}$ = коэффициент дисконтирования за год t (с учётом платежей в капитал);
- Капитал_t = итоговые издержки на капитальное строительство за год t ;
- ЭиТО_t = издержки на эксплуатацию и техническое обслуживание за год t ;
- Топливо_t = издержки на топливо за год t ;
- Углерод_t = издержки на выбросы двуокиси углерода за год t ;
- D_t = издержки на вывод из эксплуатации и утилизацию отходов за год t .

Так как $P_{\text{МВт}\cdot\text{ч}}$ — постоянная величина в течение всего периода, то её можно исключить из сложения, и уравнение (1) можно преобразовать:

$$\text{LCOE} = P_{\text{МВт}\cdot\text{ч}} = \frac{\sum [(\text{Капитал}_t + \text{ЭиТО}_t + \text{Топливо}_t + \text{Углерод}_t + D_t)(1+r)^{-t} / \text{МВт}\cdot\text{ч}_t (1+r)^t]}{\quad} \quad (2)$$

где постоянная $P_{\text{МВт}\cdot\text{ч}}$ определяется как полная приведённая стоимость электроэнергии LCOE. (МЭА/АЯЭ, 2015: с. 28)

Методология регулярно проверяется и, в случае необходимости, обновляется экспертами EGC в каждом издании. Например, начиная с издания 2010 года, оценки затрат на технологии использования ископаемого топлива включают цену единицы сокращения выбросов, составляющую 30 долларов США за тонну CO₂. Показатель LCOE в основном рассчитывается путём использования модели движения денежных потоков. Результаты этой модели могут быть проверены путём расчёта годовых денежных потоков и деления на годовой объём производства при допущении, что ежегодные потоки затрат в течение эксплуатации равны. Об эквивалентности этих методов см. в работе Ротуэлла (Rothwell 2016; Приложение 2А).

Рисунок 2.1: Издержки на уровне электростанции для различных технологий генерации электроэнергии

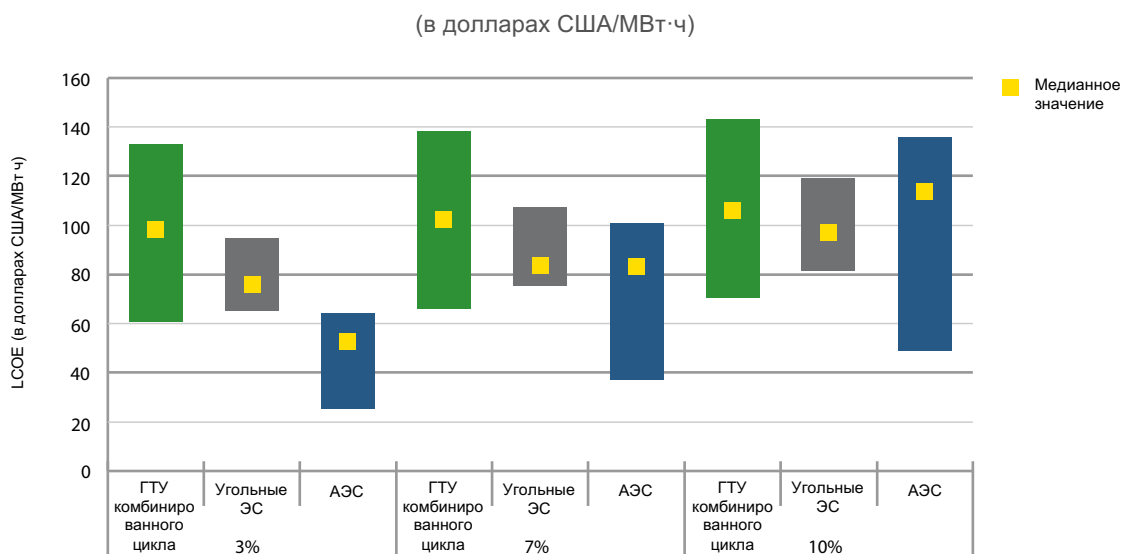
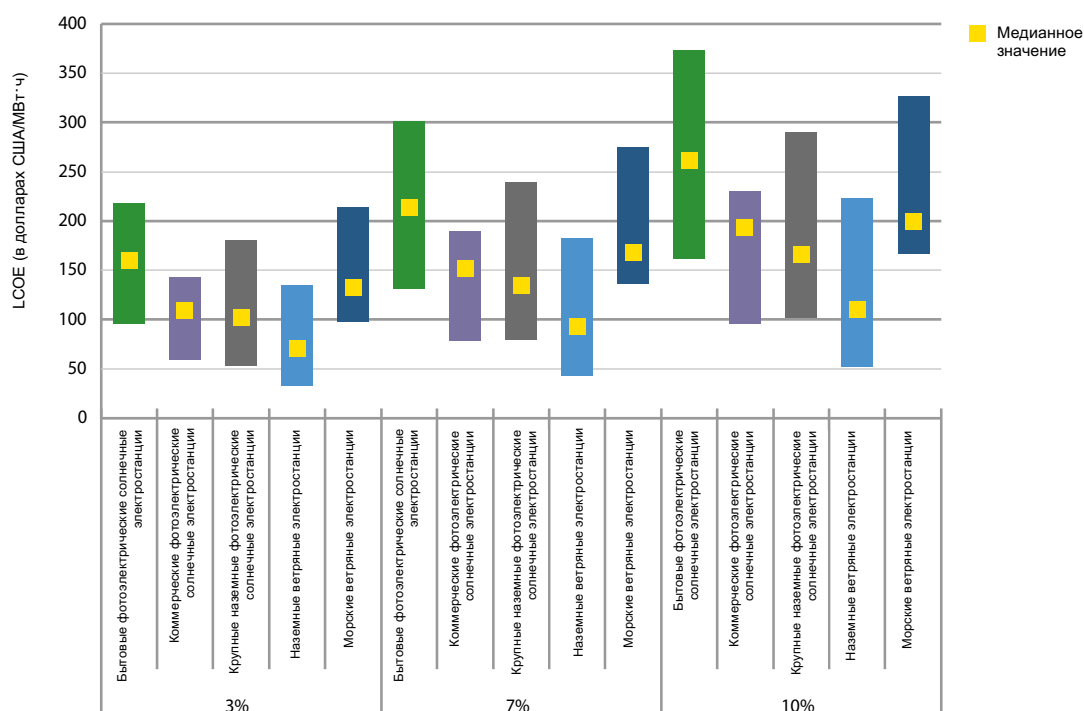


Рисунок 2.1: Издержки на уровне электростанции для различных технологий генерации электроэнергии (продолжение)



Источник: МЭА/АЯЭ, 2015.

Ставка дисконтирования является ключевым параметром в расчётах показателя LCOE. В течение многих лет ставка дисконтирования составляла 5% и 10%, но в последней редакции серии «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» 2015 года представлены результаты для ставок дисконтирования 3%, 7% и 10%. На рис. 2.1 слева представлены результаты для тепловых технологий с коэффициентом нагрузки 85%, справа – для технологий, использующих возобновляемые источники энергии, с соответствующими коэффициентами нагрузки для конкретной страны. Показатели для управляемых тепловых технологий также включают цену единицы сокращения выбросов в размере 30 долларов США за тонну CO₂. Последнее предполагает, что социальные издержки, связанные с изменением климата из-за выбросов парниковых газов, по крайней мере, подвергаются частичной интернализации в положениях политики стран ОЭСР (МЭА/АЯЭ, 2015: рис. ES.1, с. 14 и рис. ES.2, с. 15). Принимая во внимание, что прямые выбросы двуокиси углерода при использовании угля составляют около одной тонны на МВт·ч, а при использовании газа – около 400 кг на МВт·ч, их соответствующие медианные значения были бы примерно на 30 долларов США и 12 долларов США ниже, если бы не предпринималось никаких мер по сокращению выбросов CO₂.

Тем не менее, ключевым параметром остаётся ставка дисконтирования. Логически, показатель LCOE для атомной энергетики как наиболее капиталоемкой технологии базовой генерации в большей степени зависит от ставки дисконтирования, чем показатели LCOE для газовой или угольной энергетики, аналогично технологиям, использующим возобновляемые источники энергии, таким как ветроэнергетика и солнечная энергетика. Таким образом, при ставке дисконтирования 3% атомная энергетика является наименее дорогостоящим выбором, а при 10% она конкурентоспособна лишь в очень ограниченном числе стран.

Показатели LCOE являются результатом ряда сложных методологических компромиссов и предположений, касающихся различных компонентов затрат, которые будут обсуждаться ниже. В следующих двух разделах этой главы рассматриваются капитальные затраты и финансирование.¹ В разделе 4 рассматриваются переменные издержки. В разделе 5 приводятся заключения.

1. Издержки на вывод из эксплуатации в этом контексте рассматриваются как капитальные затраты, средства на которые собираются ежегодно. Следовательно, издержки на вывод из эксплуатации и утилизацию отходов в год t в уравнениях (1) и (2) можно смоделировать как годовые (переменные) издержки. См. публикацию АЯЭ (2016) для получения информации о стоимости дезактивации и демонтажа.

2.2. Доля однодневных затрат на уровне электростанции в полной приведённой стоимости

Полные капиталовложения (TCIC) объекта производства электроэнергии являются одним из видов основных затрат на уровне электростанции (см., например, публикацию «Рабочая группа по экономическому моделированию» (EMWG, 2007)). Они включают как однодневные (капитальные) затраты, так и затраты на финансирование, которые зависят от продолжительности строительства, потока затрат на строительство и стоимости капитала. Однодневные затраты указываются в исследованиях разных стран.

Значения капитальных затрат в публикации МЭА/АЯЭ (2015) требуют некоторого пояснения, поскольку показатели затрат, представленные в табл. 2.1, представляют собой прогнозируемые показатели затрат в 2020 году. Если затраты стабильны, нет причин для беспокойства. Тем не менее, это критически важный вопрос для технологий, предусматривающих дальнейшее снижение затрат, таких как технологии, использующие возобновляемые источники энергии, в частности фотоэлектрическую солнечную энергию. Несмотря на то, что стоимость технологий – в частности, фотоэлектрической солнечной – значительно снизилась за последние пять лет, данные, содержащиеся в публикации «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» (2015) фактически включают в себя дальнейшее прогнозируемое снижение затрат в период с 2015 по 2020 год в соответствии с заявлениями экспертов из стран-членов EGS. Ряд публикаций, таких как VGB (2015: с. 10), PV Magazine (2015) или веб-сайт Ecologist, фактически перепутали значения 2015 года со значениями 2020 года и, таким образом, переоценили исторический уровень снижения затрат на фотоэлектрические солнечные технологии, который остаётся значительным по любым историческим меркам. В табл. 2.1 приведены основные показатели капитальных затрат на 2020 год.

Таблица 2.1: Полезная мощность и однодневные затраты для различных технологий

Технология	Полученные исходные данные	Полезная мощность (МВт) ¹				Однодневные затраты (долл. США/кВт) ²			
		Мин. значение	Среднее значение	Медианное значение	Макс. значение	Мин. значение	Среднее значение	Медианное значение	Макс. значение
Природный газ — ГТУ комбинированного цикла	13	350	551	475	900	627	1 021	1 014	1 289
Природный газ — ГТУ открытого цикла	4	50	274	240	565	500	708	699	933
Угольные электростанции	14	605	1 131	772	4 693	813	2 080	2 264	3 067
АЭС	11	535	1 434	1 300	3 300	1 807	4 249	4 896	6 215
Бытовые фотоэлектрические СЭС	12	0,003	0,007	0,005	0,02	1 867	2 379	2 297	3 366
Коммерческие фотоэлектрические СЭС	14	0,05	0,34	0,22	1,0	728	1 583	1 696	1 977
Крупномасштабные фотоэлектрические СЭС	12	1	19,3	2,5	200	937	1 555	1 436	2 563
Термодинамические СЭС (концентрированные СЭС)	4	50	135	146	200	3 571	5 964	6 072	8 142
Наземные ветряные электростанции	21	2	38	20	200	1 200	1 911	1 804	2 999
Морские ветряные электростанции	12	2	275	223	833	3 703	4 985	4 998	5 933
ГЭС маломасштабная	12	0,4	3,1	2	10	1 369	5 127	5 281	9 400
ГЭС крупномасштабная	16	11	1 093	50	13 050	598	3 492	2 493	8 687
Геотермальные электростанции	6	6,8	62	27	250	1 493	4 898	5 823	6 625
Электростанции на биомассе и биогазе	11	0,2	154	10	900	587	4 447	4 060	8 667
Когенерационные ТЭЦ (всех типов)	19	0,2	5,3	1,1	62	926	4 526	2 926	15 988

1. Полезная мощность может относиться к мощности агрегата или к суммарной мощности нескольких агрегатов на одной и той же площадке.

2. Однодневные затраты включают затраты на подготовку к строительству, затраты на строительство (затраты на проектирование, закупку, затраты владельца и непосредственно строительство), а также непредвиденные затраты, но не включают процент, начисляемый в ходе строительства объекта (IDC).

Источник: МЭА/АЯЭ, 2015.

2.3. Затраты на финансирование на уровне электростанции

Капитальные затраты объекта генерации электроэнергии включают как однодневные (капитальные) затраты, так и затраты на финансирование, которые зависят от продолжительности строительства, потока затрат на строительство и стоимости капитала. Затраты на финансирование рассчитываются АЯЭ под руководством экспертной группы EGC. Однако выбор соответствующей ставки дисконтирования непросто. Из-за различных возможных допущений в отношении ставки дисконтирования в предыдущих отчётах использовались две или три разные ставки. Издание МЭА/АЯЭ (2015) отличается от предыдущих изданий тем, что не рассматривает случай 5-процентной ставки дисконтирования.

Фактическая ставка дисконтирования r , используемая для дисконтирования затрат и прибылей, стабильна и не меняется в течение жизненного цикла рассматриваемого проекта. Кроме того, в данном издании применяется ставка дисконтирования 3% (приблизительно соответствующая «общественной стоимости капитала»), ставка дисконтирования 7% (приблизительно соответствующая рыночной ставке на дерегулированных или реструктуризованных рынках) и ставка дисконтирования 10% (приблизительно соответствующая инвестициям в условиях повышенного риска). Номинальные ставки дисконтирования будут повышаться с учётом инфляции (см. главу 8). Данные ставки должны рассматриваться не в контексте применения к отдельным проектам, а в качестве средства сравнения стоимости различных технологий в различных регионах. (МЭА/АЯЭ, 2015: с. 26)

Достаточно развёрнутый анализ различных значений, которые может принять понятие ставки дисконтирования, можно найти в издании АЯЭ (1989: с. 123).

Таким образом, ставки дисконтирования могут быть основаны на:

- 1) затратах на финансирование инвестиций (как правило, это процентная ставка по облигациям электроэнергетических компаний, но могут также включаться дивиденды долевого финансирования) в течение срока реализации проекта;
- 2) альтернативной стоимости капитала при инвестировании, определяемой доходом, который он потенциально может принести при альтернативном использовании;
- 3) общественном межвременном предпочтении, отражающем опосредованные экономические выгоды и стремление общества защитить интересы будущих поколений;
- 4) некоторой комбинаций этих понятий.

В целом, как предполагается, ставка альтернативной стоимости а) выше ставки долгосрочного заимствования, б) которая, в свою очередь, выше ставки общественных межвременных предпочтений, в) ставка заимствования (ставка дивидендов или составная ставка), а также ставка альтернативной стоимости в большинстве случаев имеет более высокий уровень для инвестиций, которые, как считается, могут иметь неопределённые результаты. С аналитической точки зрения, для удобства можно отличать концепцию межвременного предпочтения от концепции риска. Риски получения высоких или низких результатов для важных параметров (таких как цена угля и других видов топливных ресурсов, капитальных затрат, сроков строительства, коэффициентов нагрузки, показателей эффективности, доступности для электростанций) наиболее ясно описываются при использовании подходящих диапазонов чувствительности в сочетании со ставкой дисконтирования, основанной исключительно на межвременных предпочтениях. Тем не менее, инвесторы в целом не склонны к риску и стараются избежать потерь при инвестициях в более рискованные проекты (или компании), стремясь получить более высокие уровни рентабельности. (АЯЭ/МЭА, 1989: с. 123)

Следует, однако, отметить, что на регулируемых рынках с монопольными электроэнергетическими компаниями, свободных от финансового риска, для которых впервые был выведен показатель LCOE, четыре определения приходят к единой стоимости капитала, согласованной между электроэнергетическими компаниями и регулирующим органом, которая включает данные, касающиеся частного сектора и общественного межвременного предпочтения. Следует также отметить, что в отчётах МЭА/АЯЭ не рассматриваются какие-либо налоговые последствия. Во всех изданиях, кроме первого, использовалась ставка дисконтирования в размере 10%. Во всех изданиях, кроме издания 2015 года, использовалась ставка дисконтирования в размере 5%. В издании 1989 года для анализа чувствительности использовались ставки в размере 3% и 7% (наряду со значениями 5% и 10%). Как указано в издании 1992 года (с. 24):

В более ранних исследованиях затраты на производство электроэнергии рассчитывались по фактическим ставкам дисконтирования в размере 5% в год и 10% в год, в исследовании 1989 года для анализа чувствительности использовались ставки 3% и 7% в год. Ставка в размере пяти процентов ранее принималась в качестве эталонного значения, поскольку она соответствовала показателю, принятому в большинстве стран ОЭСР. Ставка в размере десяти процентов была включена для определения чувствительности и ещё потому, что она соответствовала самым высоким ставкам, используемым в странах-участницах (включая ставки стран, не входящих в ОЭСР, используемые для их собственного анализа). (АЯЭ/МЭА, 1992: с. 24)

В изданиях 1992, 1998, 2005 и 2010 годов использовались исключительно ставки дисконтирования в размере 5% и 10%. Как отмечается в отчёте МЭА/АЯЭ (2010: с. 34): «По традиции в этом выпуске «Прогнозируемых затрат на производство электроэнергии» использована как ставка дисконтирования в размере 5%, так и ставка дисконтирования в размере 10%». Несмотря на существующую традицию использования ставок дисконтирования в размере 5% и 10%, возникает некоторая путаница в отношении определения размера ставки дисконтирования.

В отчёте МЭА/АЯЭ (2010: с. 151) рассматривается сложный вопрос разграничения общественных и частных капиталовложений и утверждается следующее:

Затраты на социальные ресурсы – это альтернативные затраты, от которых общество должно отказаться, когда оно осуществляет инвестиции в конкретную технологию. Ключевым аспектом здесь является предположение, что весь риск отражён в ставках дисконтирования. Дополнительные аспекты неопределённости, которые выходят за рамки риска, учтенного в ставках дисконтирования, и которые должны учесть инвесторы, работающие на конкурентных рынках, в особенности частные инвесторы, не являются предметом настоящего исследования... На практике частные инвесторы сталкиваются с более высокими затратами на финансирование, чем государственные инвесторы, поскольку кредиторы требуют дополнительного страхования риска невыполнения обязательств. В рамках данного исследования это означает, что при использовании термина «затраты на социальные ресурсы» мы рассматриваем указанные инвестиции так, как если бы отсутствовал ценовой риск. Само понятие методологии полной приведённой стоимости подразумевает существование стабильных цен на электроэнергию в течение всего срока реализации проекта. Тем не менее, две ставки дисконтирования, использованные в данном исследовании (5% и 10%), дают приблизительные данные о различных уровнях внутреннего риска. (МЭА/АЯЭ, 2010: с. 151)

Существенным моментом здесь является то, что частные рыночные ставки дисконтирования включают риски, которые неодинаковы для разных технологий и зависят от различных рыночных условий. Следовательно, они не учитываются в ставках дисконтирования, используемых в расчётах показателя LCOE. Кроме того, для всех технологий уровень риска (и, следовательно, ставка дисконтирования, которая должна использоваться для дисконтирования денежных потоков) зависит от стадии проекта и, таким образом, изменяется с течением времени. Вместо этого методология LCOE использует постоянную ставку дисконтирования в течение всего срока реализации проекта.

Принимая во внимание вышеизложенное, по мере того, как экспертной группой EGC, АЯЭ и МЭА последовательно использовались одинаковые ставки дисконтирования в период с 1983 по 2015 год, обоснование выбора таких ставок со временем изменилось.

2.4. Переменные и приведённые издержки на уровне электростанции

Как правило, EGC принимает в расчёт цену на топливо (МЭА/АЯЭ, 2015: с. 32). С другой стороны, эксперты из стран-членов приводят данные о затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание (ЭиТО) для конкретной технологии. Данные о таких расходах приводились для угольных и атомных электростанций во всех выпусках «Прогнозируемых затрат» 1980-х годов; для электростанций, использующих природный газ (электростанции с газовыми турбинами комбинированного цикла – ГТКЦ), угольных и атомных электростанций - во всех выпусках, начиная с 1992 года; и для наземных ветряных и наземных фотоэлектрических солнечных электростанций - во всех изданиях, начиная с 2005 года.

В издании 2015 года:

Как и каждое издание данной серии, настоящее исследование нацелено на охват самых современных технологий производства электроэнергии, коммерчески доступных на момент публикации. Соответственно, в настоящей новой редакции особое внимание уделено включению широкого спектра источников и технологий производства электроэнергии, охватывающих диапазон альтернатив, рассматриваемых в странах-участницах для электростанций, строящихся

в 2003-2004 годах и/или планируемых к подключению к сетям в ближайшие десять лет или в сходный период. Однако некоторые эксперты стран-членов включили недавно подключённые к сети электростанции, которые они посчитали характерными для передовых технологий в своих странах. Кроме того, для некоторых более новых технологий с относительно крутыми кривыми освоения, современные на сегодняшний день технологии могут улучшиться к 2010-2015 годам (АЯЭ/МЭА, 2005: с. 11).

Поэтому респонденты по возобновляемым источникам энергии могли спрогнозировать затраты до 2010 года. Сравните данный анализ с анализами в выпусках 2010 и 2015 годов.

В издании 2010 года: «Исследование сосредоточено на ожидаемых затратах на уровне электростанции на производство электроэнергии базовой генерации электростанциями, которые могут быть введены в эксплуатацию к 2015 году» (МЭА/АЯЭ, 2010: с. 17).

В издании 2015 года:

В отчёте представлены результаты работы, выполненной в 2014 году и в начале 2015 года, по расчёту стоимости выработки электроэнергии как для электроэнергии базовой генерации, производимой тепловыми электростанциями, использующими ископаемые виды топлива, и атомными электростанциями, так и для электроэнергии, производимой рядом электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, в том числе переменчивые источники, такие как ветровая и солнечная энергия. Данное исследование является прогнозом и основывается на ожидаемой стоимости ввода рассматриваемых электростанций в эксплуатацию в 2020 году. (МЭА/АЯЭ, 2015: с. 17)

Однако издание МЭА/АЯЭ 2015 года (с. 11) поднимает вопросы, касающиеся возможных изменений в затратах на возобновляемые источники энергии в период с 2014 года (дата проведения исследования) по 2020 год:

Что такое типичная стоимость возобновляемых источников энергии? Ответ на этот вопрос — особая задача, принимая во внимание динамическую эволюцию некоторых технологий, таких как технологии с использованием ветровой и фотоэлектрической солнечной энергии... Более того, резкое снижение цен на некоторые технологии означает, что данные могут быстро оказаться устаревшими. Например, несмотря на значительное снижение стоимости фотоэлектрических солнечных модулей за последние годы, цены на полную фотоэлектрическую установку одного и того же типа в разных странах значительно отличаются. Самая большая разница возникает из-за «административных и проектных расходов», которые включают в себя привлечение клиентов, разрешение, проверку и подключение, затраты на установку и расходы на финансирование, особенно это касается небольших энергосистем. «Среднесрочный отчёт о рынке возобновляемой энергии» (*The Medium-term Renewable Energy Market Report*) (МЭА, 2014), или MTRMR, делает один шаг вперёд в направлении отображения более типичной стоимости. Не являясь как таковым исследованием стоимости, MTRMR старается в среднесрочной перспективе определить рынки, наиболее динамично внедряющие системы фотоэлектрической энергии, и концентрируется на оценке стоимости в этих регионах (МЭА, 2014). В отличие от исследования EGC 2015 года, MTRMR также старается применить рыночные учётные ставки к расчётам показателя LCOE, хотя такие значения могут иметь некоторую степень неопределённости. Итог такого подхода заключается в том, что анализ стоимости MTRMR лучше отражает ожидаемую тенденцию внедрения. (МЭА/АЯЭ, 2015: с. 113)

В отличие от методологии, используемой в «Прогнозируемых затратах», в MTRMR применяются «ставки дисконтирования для конкретного рынка». Поэтому трудно согласовать выборку MTRMR 2014 года в отношении показателя LCOE для систем фотоэлектрической энергии в масштабах энергетического объекта, прогнозируемых на 2020 год (см. рис. 6.2), где медианные и средние значения LCOE составляют менее 100 долларов США за МВт·ч, с: (1) расчётами EGC, где медианные и средние значения LCOE превышают 150 долларов США за МВт·ч; и (2) расчётами EGC, где медианное значение для солнечных и ветряных электростанций составляет 200 долларов США за МВт·ч.

Чтобы выяснить причину резкого падения затрат для наземных ветряных и наземных фотоэлектрических электростанций, их значения, указанные в публикациях АЯЭ/МЭА (2005), МЭА/АЯЭ (2010) и МЭА/АЯЭ (2015), были приведены к курсу доллара США на 2013 год (валюта, используемая в МЭА/АЯЭ, 2015) и сопоставлены в табл. 2.2 и 2.3.

В табл. 2.2, касающейся наземных ветряных электростанций, средняя мощность проектов увеличилась с 36 МВт в 2005 году (прогноз до 2010 года) до 56 МВт в 2010 году (прогноз до 2015 года), а затем снизилась до 38 МВт в 2015 году (прогноз до 2020 года). Другими словами, не ожидалось больших изменений в мощности проектируемых наземных ветряных электростанций. Средний коэффициент нагрузки или мощности увеличился с 24% в 2005 году до 27% в 2010 году и до 31% в 2015 году. Другими

словами, коэффициент нагрузки наземных ветряных электростанций увеличивался каждые пять лет более чем на 10%, тем самым уменьшая компонент постоянных издержек в соответствующем показателе LCOE. Как ни странно, средние однодневные затраты увеличились с 1 605 долларов США за кВт·ч в 2005 году до 2 622 долларов США за кВт·ч в 2010 году, а затем снизились до 1 911 долларов США за кВт·ч в 2015 году. Другими словами, ожидаемые средние однодневные затраты увеличились на 63% с 2010 по 2015 год, затем снизились на 27% с 2015 по 2020 год, но в 2020 году всё ещё были на 19% выше, чем в 2010 году.

Что касается затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, ожидаемые средние затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание выросли с 12,92 долларов США в 2010 году до 25,75 долларов США в 2015 году, а затем снизились до 22,46 долларов США в 2020 году. Другими словами, ожидаемые средние затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание удвоились с 2010 по 2015 год, затем снизились на 13% с 2015 по 2020 год, но в 2020 году всё ещё были на 74% выше, чем в 2010 году. Наконец, при рассмотрении показателя LCOE со ставкой дисконтирования 10% (которая является единственной ставкой, применённой во всех трех изданиях) показатель LCOE для наземных ветряных электростанций увеличился с 90 долларов США за МВт·ч до 148 долларов США за МВт·ч, а затем снизился до 110 долларов США за МВт·ч, т. е. он увеличился на две трети с 2010 по 2015 год, затем снизился на 26% в 2020 году, но всё ещё был на 23% выше в 2020 году, чем в 2010 году.

Таблица 2.2: **Затраты наземных ветряных электростанций**
(в долларах США по курсу 2013 г.)

	Мощность объекта (МВт)	Коэффициент загрузки (%)	Однодневные затраты (долларов США/кВт _с)	Затраты на ЭИТО (3% или 5%) (долларов США/МВт·ч)	LCOE 3% (долларов США/МВт·ч)	LCOE 5% (долларов США/МВт·ч)	LCOE 7% (долларов США/МВт·ч)	LCOE 10% (долларов США/МВт·ч)
МЭА/АЯЭ (2015: табл. 6.7)					МЭА/АЯЭ (2015: табл. 3.13)			
	20	20	20	18	18		18	18
Макс. значение	200	49%	2 999	36,24	135		182	223
Мин. значение	2	20%	1 200	11,37	33		43	52
Среднее значение	38	31%	1 911	22,46	71		91	110
Медианное значение	20	28%	1 804	21,38	68		85	99
МЭА/АЯЭ (2010: табл. 5.1)					МЭА/АЯЭ (2010: табл. 5.2)			
Подсчёт	13	13	13	13		13		13
Макс. значение	150	41%	4 022	46,30				
Мин. значение	2	21%	1 997	9,34				
Среднее значение	56	27%	2 622	25,75		105		148
Медианное значение	45	26%	2 542	23,72				
АЯЭ/МЭА (2005: табл. 4.4)					АЯЭ/МЭА (2005: табл. 4.5, 4.6)			
Подсчёт	8		8	8		8		8
Макс. значение	60		1 836	18,75		96		134
Мин. значение	14		1 297	6,21		39		61
Среднее значение	36	24%	1 605	12,92		63		90
Медианное значение	35		1 644	13,36		59		82

Источники: МЭА/АЯЭ, 2015; МЭА/АЯЭ, 2010; АЯЭ/МЭА, 2005.

В табл. 2.3, касающейся крупномасштабных наземных фотоэлектрических солнечных электростанций, средняя мощность проектируемых объектов увеличилась с 1,51 МВт в 2005 году (прогноз до 2010 года) до 3 МВт в 2010 году (прогноз до 2015 года), а затем до 19 МВт в 2015 году (прогноз до 2020 года). Тем не менее, ожидаемая медианная мощность проектируемых объектов увеличилась с 0,5 МВт в 2010 году до 1 МВт в 2015 году и до 3 МВт в 2020 году. Другими словами, китайский проект мощностью 200 МВт оказал среднее значение в исследовании МЭА/АЯЭ (2015: с. 50). По всей видимости, существует множество малых «крупномасштабных» проектов фотоэлектрических электростанций и несколько больших «крупномасштабных» проектов, большинство из которых строятся за пределами стран ОЭСР. Предполагаемый средний коэффициент нагрузки вырос на 40%, увеличившись с 11% в 2010

году до 15% в 2015 году. Другими словами, коэффициенты мощности проектируемых фотоэлектрических электростанций, по-видимому, приблизились к верхней границе, в то время как концентрированные солнечные электростанции (КСЭС) имеют более высокий коэффициент мощности (см. соответствующую информацию и данные в исследовании МЭА/АЯЭ, 2015: с. 42-43). Как ни странно, ожидаемые средние однодневные затраты снизились с 7 261 долларов США за кВт_ч в 2010 году до 6 000 долларов США за кВт_ч в 2015 году, а затем до 1 555 долларов США за кВт_ч в 2020 году. Другими словами, ожидаемые средние однодневные затраты снизились на 17% с 2010 по 2015 год, а затем на 74% с 2015 по 2020 год. Речь, конечно, идёт о предполагаемом снижении, а не фактическом.

Таблица 2.3: Затраты наземных фотоэлектрических электростанций

(в долларах США по курсу 2013 г.)

	Мощность объекта (МВт)	Коэффициент загрузки (%)	Одно-дневные затраты (в долларах США/кВт _ч)	Затраты на ЭИТО (3% или 5%) (в долларах США/МВт·ч)	LCOE 3% (в долларах США/МВт·ч)	LCOE 5% (в долларах США/МВт·ч)	LCOE 7% (в долларах США/МВт·ч)	LCOE 10% (в долларах США/МВт·ч)
МЭА/АЯЭ (2015: табл. 6.6)				МЭА/АЯЭ (2015: табл. 3.12)				
Подсчёт	12	12	12	10	11		11	11
Макс. значение	200	21%	2 563	54,09	181		239	290
Мин. значение	1	11%	937	2,65	54		80	103
Среднее значение	19	15%	1 555	30,45	107		144	175
Медианное значение	3	15%	1 436	37,40	102		135	166
МЭА/АЯЭ (2010: табл. 5.1)				МЭА/АЯЭ (2010: табл. 5.2)				
Подсчёт	13	13	13	13		13		13
Макс. значение	10	25%	7 988	87,60				
Мин. значение	0	10%	3 536	6,20				
Среднее значение	3	15%	6 000	37,90		445		667
Медианное значение	1	13%	6 499	81,40				
АЯЭ/МЭА (2005: табл. 4.4)				АЯЭ/МЭА (2005: табл. 4.5, 4.6)				
Подсчёт	4	4	4	4		4		
Макс. значение	5,00		12 876	174,69		1 926		2 377
Мин. значение	0,03		4 260	6,08		153		265
Среднее значение	1,51	11%	7 261	75,29		764		1 031
Медианное значение	0,50		5 953	45,10		489		741

Источники: МЭА/АЯЭ, 2015; МЭА/АЯЭ, 2010; АЯЭ/МЭА, 2005.

Что касается затрат на ЭИТО, ожидаемые в 2010 году средние затраты на ЭИТО снизились с 75,3 долларов США до 37,90 долларов США на 2015 год, а затем до 30,45 долларов США на 2020 год. Другими словами, ожидаемые средние затраты на ЭИТО снизились на 50% с 2010 по 2015 год, а затем ещё на 20% с 2015 по 2020 год. Наконец, рассматривая показатель LCOE при ставке дисконтирования 10%, показатель LCOE крупных фотоэлектрических солнечных электростанций снизился с 1 031 долларов США за МВт·ч до 667 долларов США за МВт·ч, а затем до 175 долларов США за МВт·ч, т. е. на треть с 2010 по 2015 год, а затем на три четверти до 2020 года. Таким образом, предполагаемые затраты на крупные фотоэлектрические солнечные электростанции «рухнули» более чем на 80% с 2005 года (см. АЯЭ/МЭА, 2005) по 2015 год (см. АЯЭ/МЭА, 2015).

2.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

В этой главе рассмотрены некоторые ключевые методологические вопросы, связанные с расчётом показателя LCOE в серии «Прогнозируемые затраты» вплоть до последнего выпуска 2015 года. Несмотря на существование консенсуса о том, что методология LCOE по-прежнему полезна в качестве концепции

затрат в рамках работы отдельной электростанции, она по определению не включает ни системных издержек на производство электроэнергии (см. главу 3), ни тем более полных затрат на производство электроэнергии. Показатель LCOE, однако, является важным элементом как системных издержек, так и полных затрат, и, следовательно, полностью заслуживает внимания, уделённого ему в данном отчёте.

Важно помнить, что во всех исследованиях серии «Прогнозируемые затраты» все указанные затраты являются не фактическими, а предполагаемыми затратами в рамках новых проектов, определёнными экспертами из стран-членов и утверждёнными соответствующими правительствами. Таким образом, изменения показателя LCOE являются предполагаемыми изменениями, а не фактически проверенными. Как серия «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии», издаваемая МЭА и АЯЭ, так и расчёт показателя LCOE, в целом, имеют свои пределы, и любые результаты должны быть надлежащим образом сформулированы. Однако на сегодняшний день их полезность для экспертов в области энергетики, разработчиков моделей и политиков перевешивает всех их недостатки.

При анализе последнего выпуска серии «Прогнозируемые расходы», издание 2015 года, и, в частности, при сравнении его с предыдущими выпусками, становятся очевидными два поразительных факта. Первый заключается в существенном снижении затрат на возобновляемые источники энергии, особенно на фотоэлектрическую солнечную энергию. Так, по данным стран-членов ОЭСР в 2015 году однодневные капитальные затраты в рамках наземных фотоэлектрических электростанций (для установки в 2020 году) снизились в среднем на 75% по сравнению с данными, представленными в 2010 году (для установки в 2015 году). Второй важный факт заключается в решающем влиянии ставки или коэффициента дисконтирования. Ввиду капиталоемкости всех низкоуглеродных технологий, ядерной энергетики, гидроэнергетики и энергетики на основе возобновляемых источников энергии, такое влияние неизбежно возрастёт, поскольку страны ОЭСР проводят политику декарбонизации электроэнергетического сектора. Атомная энергетика как единственный крупный регулируемый источник низкоуглеродной базовой генерации испытывает на себе это влияние особенно остро. Таким образом, при ставке дисконтирования 3% атомная энергетика является наименее дорогостоящим выбором, а при 10% или даже 7% она конкурентоспособна лишь в очень ограниченном числе стран. Атомная энергетика не сможет вечно полагаться на преимущества нынешних условий конъюнктуры с низкими процентными ставками. Таким образом, меры по снижению капитальных затрат в атомной энергетике за счёт постепенного усовершенствования на промышленном уровне, а также за счёт инноваций в рамках новых исследований и разработок являются неотъемлемой частью надёжных стратегий по декарбонизации энергетического сектора.

Частым поводом для разногласий является коэффициент дисконтирования в уравнении приведённых затрат и его соотношение со стоимостью капитала. В этой главе был рассмотрен процесс обсуждения этого соотношения, имевшего место в разных выпусках отчёта. Определение «правильного» коэффициента дисконтирования выходит за рамки настоящего исследования. Однако взаимосвязь между коэффициентом дисконтирования и вопросами, связанными с «устойчивостью», следует рассмотреть в каком-либо другом исследовании и предпочтительно до появления следующего выпуска «Прогнозируемых затрат».

Список литературы

- Ecologist (2015), "The Solar Age is Upon Us", by Goodall, C., 1 September, www.theecologist.org/blogs_and_comments/commentators/2985170/the_solar_age_is_upon_us.html.
- EMWG (2007), "Cost Estimating Guidelines for Generation IV Nuclear Energy Systems, Economic Modelling Working Group (EMWG)", Generation IV International Forum, Paris, www.gen-4.org/gif/jcms/c_40408/cost-estimating-guidelines-for-generation-iv-nuclear-energy-systems.
- IEA (2014), *Medium-term Renewable Energy Market Report*, OECD, Paris, www.iea.org/publications/freepublications/publication/medium-term-renewable-energy-market-report-2014.html.
- IEA/NEA (2015), *Projected Costs of Generating Electricity*, 2015 Edition, OECD, Paris, Figure ES.1, p. 14; Figure ES.2, p. 15 updated in "Corrigendum"; and pp. 50 to 53, 112 and 113, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf.
- IEA/NEA (2010), *Projected Costs of Generating Electricity*, 2010 Edition, pp. 102-103, OECD Paris,

www.iaea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf.

- IRENA (2015), *Renewable Power Generation Costs in 2014*, IRENA, Abu Dhabi, www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Power_Costs_2014_report.pdf.
- Khatib, H. (2016), "A review of the IEA/NEA Projected Costs of Electricity - 2015 edition", *Energy Policy*, Vol. 88, pp. 229-233, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515301579.
- NEA (2016), *Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decom-npp.pdf.
- NEA (1996), *Future Financial Liabilities of Nuclear Activities*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/reports/1996/future_financial_liabilities.PDF.
- NEA (1989), *Projected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995-2000*, OECD, Paris, www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/21/072/21072727.pdf.
- NEA (1986), *Projected Costs of Generating Electricity from Nuclear and Coal-Fired Power Stations for commissioning in 1995*, OECD, Paris, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:17090178.
- NEA (1983), *The Costs of Generating Electricity from Nuclear and Coal-Fired Power Stations*, OECD, Paris.
- NEA/IEA (2005), *Projected Costs of Generating Electricity*, 2005 Update, pp. 60-62, p. 120, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2005/5968-projected-costs.pdf.
- NEA/IEA (1998), *Projected Costs of Generating Electricity*, Update 1998, OECD, Paris, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:30014697.
- NEA/IEA (1992), *Projected Costs of Generating Electricity*, Update 1992, OECD, Paris, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:25047956.
- PV Magazine (2015), "IEA-NEA report examines plunge in costs of generating electricity from renewables", *PV Magazine*, www.pv-magazine.com/2015/09/08/iea-nea-report-examines-plunge-in-costs-of-generating-electricity-from-renewables_100020989.
- Rothwell, G. (2016), *Economics of Nuclear Power*, Routledge, London, www.routledge.com/Economics-of-Nuclear-Power/Rothwell/p/book/9781138858411.
- VGB (2015), *Levelised Cost of Electricity*, LCOE 2015, VGB PowerTech e.V., Essen, www.vgb.org/en/lcoe2015.html?dfid=74042.
- WCED (1987), *Our Common Future*, Brundtland Commission, Oxford University Press, Oxford, www.environmentandsociety.org/mml/un-world-commission-environment-and-development-ed-report-world-commission-environment-and.

Глава 3. Системные издержки на уровне сети

3.1. Введение

По определению методологии Международного энергетического агентства (МЭА)/Агентства по ядерной энергии (АЯЭ), описанной в предыдущей главе, полная приведённая стоимость электроэнергии (LCOE) представляет собой среднюю стоимость производства МВт·ч электроэнергии в течение жизненного цикла, полученную путём суммирования всех расходов (инвестиций, расходов на топливо, эксплуатацию и техническое обслуживание, демонтаж и, при необходимости, расходов, связанных с углеродосодержащими выбросами), понесённых в течение жизненного цикла электростанции, и после учёта соответствующего коэффициента дисконтирования их деления на количество произведённой электроэнергии. Таким образом, издержки на уровне электростанции включают все расходы, необходимые для производства указанного количества электроэнергии на шинах электростанции, но они не учитывают все инфраструктурные и сопутствующие затраты, необходимые для обеспечения электроэнергией каждого потребителя. По своей сути, издержки на уровне электростанции соответствуют издержкам каждой отдельно взятой электростанции, независимо от того, как она взаимодействует с другими элементами энергосистемы.

В отличие от других товаров и услуг, для которых производственные затраты составляют большую часть издержек на обеспечение клиента товаром или услугой, в случае выработки электроэнергии производственные затраты представляют собой только часть, даже если и важную, затрат на обеспечение потребителя электроэнергией. Требуется множество компонентов и систем, помимо электростанций для передачи электроэнергии с производственной площадки конечным потребителям, а также обеспечения постоянного соответствия энергоснабжения спросу и способности энергосистемы выдерживать потенциальный отказ одного из ее компонентов без нарушения надёжности электроснабжения (критерий N-1). В то время как потребитель получает только один определённый товар, выражаемый в киловатт-часах, каждый компонент энергосистемы предоставляет большое количество других услуг, взаимодействует со всеми остальными компонентами для гарантии эффективной работы энергосистемы и обеспечивает требуемый уровень надёжности электроснабжения.

Концепция системных издержек была разработана недавно для описания и учёта взаимодействия между различными технологиями производства электроэнергии и инфраструктурой, составляющей энергосистему, для определения влияния внедрения каждой технологии на всю систему. Анализ системного воздействия также обеспечивает основу для определения вклада определённой технологии производства электроэнергии в общую энергосистему. Другими словами, если издержки на уровне электростанции характеризуют стоимость производства одного киловатт-часа электроэнергии, системные издержки определяют дополнительные расходы на обеспечение потребителя электроэнергией в контексте системы в целом. В то время как такие системные издержки на уровне сети всегда существовали в разукрупнённых системах электроснабжения и в условиях конкурентного производства, данная концепция была тщательно разработана и сформулирована МЭА и АЯЭ в последние годы (МЭА, 2011 и 2014; АЯЭ, 2012, и МЭА/АЯЭ, 2015), используя большое количество новых исследований, сделанных научным сообществом, промышленностью и правительствами.

Если анализ ограничивается производителями электроэнергии, каждая электростанция имеет свою специфику и характеристики: она способна предоставлять определённые услуги для энергосистемы, не связанные исключительно с генерацией электроэнергии, накладывает некоторые ограничения и предъявляет дополнительные требования к энергосистеме. Главным образом, несмотря на индивидуальные отличия, технологии, предусматривающие возможность диспетчерского управления, включая ядерную энергетику, имеют общие черты и оказывают относительно ограниченное воздействие на энергосистему в целом. Воздействия в основном связаны с большим размером гидроэлектрических и ядерных электростанций, которые требуют в некоторой степени большего количества резервов на выравнивание нагрузок для удовлетворения критерия N-1, а также специфических издержек на подключение к сетям электропередачи. Однако, благодаря большой производственной мощности, дополнительные расходы в пересчёте на МВт·ч остаются ограниченными.

С другой стороны, технологии, использующие переменчивые возобновляемые источники энергии (ПВИЭ), а именно, ветрогенерация и фотоэлектрическая солнечная генерация, имеют общие характеристики, которые усложняют их интеграцию в энергосистему и влияют на их способность предоставления услуг для системы в целом и на их экономическую значимость. Именно поэтому системные эффекты вызывают большой интерес с тех пор, как технологии на основе ПВИЭ достигли значительного уровня внедрения во многих странах-членах ОЭСР.

МЭА (2014) определило шесть технических и экономических характеристик, являющихся специфическими для ПВИЭ и отличающих их от технологий производства, предусматривающих возможность диспетчерского управления. Данные характеристики, неразрывно связанные с их природой, влияют на вклад ПВИЭ в энергосистему и являются ключевым элементом для объяснения и понимания сопутствующих системных издержек. Однако, следует иметь в виду, что конкретное воздействие каждой из данных характеристик в высокой степени зависит от окружающих систем электроснабжения, структуры генерирующих мощностей, режима ценообразования на выбросы двуокси углерода, формы поддержки возобновляемых источников энергии и, в частности, доступности гибких ресурсов на стороне предложения и спроса. Производительность ПВИЭ является:

1. **Изменчивой:** выходная мощность изменяется в зависимости от доступности ресурса. ПВИЭ не предусматривают возможность диспетчерского управления, так как выходная мощность не может быть адаптирована к потребностям энергосистемы.¹
2. **Неопределённой:** количество выработанной электроэнергии невозможно точно спрогнозировать. Точность прогноза объёма производства повышается с приближением момента подачи электроэнергии в сеть.
3. **Зависящей от местоположения:** качество доступных ресурсов не будет одинаковым повсеместно и их транспортировка невозможна. Во многих случаях объекты с надлежащим уровнем производительности сконцентрированы в одном и том же регионе и вдали от центров нагрузки.
4. **Несинхронной:** электростанции с ПВИЭ подключены к сети посредством силовой электроники, в то время как традиционные генераторы синхронизированы с сетью.
5. **Многомасштабной:** масштаб индивидуальной установки ПВИЭ намного меньше, чем масштаб традиционных установок генерации.
6. **Характеризуется низкими переменными издержками:** по завершении строительства ПВИЭ могут вырабатывать электроэнергию при незначительных затратах. В частности, переменные производственные издержки (предельные издержки) близки к нулю в случае ветряных и солнечных электростанций.

Тем не менее, анализ, недавно проведённый АЯЭ (2012), показывает, что в то время, как все технологии производства имеют определённые системные издержки, затраты, возлагаемые на энергосистему переменчивыми возобновляемыми источниками энергии, как минимум на один порядок выше, чем системные издержки технологий, предусматривающих возможность диспетчерского управления. Кроме того, внедрение субсидированных ПВИЭ создаёт рыночную сферу, в которой финансирование традиционных технологий благодаря доходам от «чисто энергетических» рынков, не имеющих механизма платы за мощность, невозможно, что может иметь серьёзные последствия для надёжности электроснабжения. С увеличением доли ПВИЭ в структуре вырабатываемой электроэнергии во многих странах-членах ОЭСР их влияние на энергосистему становится всё более явным, что требует признания существования системных эффектов и создания соответствующих структур для их минимизации и, по мере возможности, интернализации.

3.2. Определение системных эффектов, методологические вопросы, трудности и неопределённость

Несмотря на рост количества исследований в данной области и достигнутый прогресс, строгое и общепринятое определение системных эффектов и надлежащим образом кодифицированная

1. Ветрогенерация может при необходимости быть ограничена и, таким образом, обеспечивать некоторые услуги по снижению мощности для энергосистемы.

методология их количественной оценки до сих пор отсутствуют. Это является прямым следствием глубинной сущности системных эффектов, сложности затрагиваемых явлений и трудностей, связанных с детальным моделированием энергосистемы. По своей природе системные эффекты не могут быть определены или рассмотрены при изучении отдельной энергосистемы, но их можно понять и выразить количественно только путём сравнения двух и более энергосистем; количественная оценка зависит от выбора эталонной системы («ориентира»). Например, внедрение определённого количества мощностей ПВИЭ в определённую энергосистему, предположим, 10 ГВт, вырабатываемых наземной ветряной электростанцией, в долгосрочной перспективе приведёт к изменению системы электроснабжения: потребуются увеличить количество сетей электропередачи (или предусмотреть иную структуру существующей сети электропередачи), а также изменить структуру генерирующих мощностей для лучшей адаптации к характеристикам ветрогенерации. Количественная оценка системных эффектов в результате введения данных 10 ГВт возможна только путём сравнения новой системы производства с эталонной системой, в которой 10 ГВт ветровой энергии не были внедрены извне. Способ определения эталонной энергосистемы и способ построения и оптимизации энергосистемы с использованием ветровой энергии представляют собой ключевые аспекты любой количественной оценки системных эффектов. Их часто разделяют на следующие три большие категории:

- a) издержки на резервирование, которые иногда называют издержками на манёвренность;
- b) издержки на выравнивание нагрузок;
- c) сетевые издержки, которые могут включать затраты на подключение.

Издержки на резервирование (или издержки на манёвренность) относятся к увеличению затрат в отношении энергосистемы в ответ на изменчивость производительности ПВИЭ. Они отражают тот факт, что в энергосистеме с ПВИЭ обеспечение остаточной нагрузки, как правило, обходится дороже, чем в энергосистеме с технологией, которая предусматривает возможность диспетчерского управления, но в остальном равнозначна в части показателя LCOE. Издержки на резервирование – это альтернативные затраты, связанные с отсутствием, в долгосрочной перспективе, более дешёвой традиционной структуры генерирующих мощностей для обеспечения остаточной нагрузки (в качестве наглядного примера см. рис. 3.1).

Другой способ рассмотрения издержек на резервирование в энергосистемах с переменчивыми возобновляемыми источниками энергии заключается в том, что производство электроэнергии источниками ветровой или фотоэлектрической солнечной энергии сконцентрировано в течение ограниченного количества часов при благоприятных метеорологических условиях. Данная автокорреляция уменьшает среднюю стоимость каждого МВт·ч выходной мощности ПВИЭ. Особенно при высоких уровнях замещения, определённая электростанция с ПВИЭ с большей вероятностью будет вырабатывать энергию одновременно с другими электростанциями с ПВИЭ, что уменьшает рыночную стоимость выработанной электроэнергии и её вклад в энергосистему. В конечном итоге издержки на резервирование также должны включать эффект, связанный с низкой фактической мощностью ПВИЭ и вытекающим из этого повышением требований к манёвренности других электростанций.

В случае заполненных и совершенно конкурентных рынков электроэнергии существует прямая связь между издержками на резервирование и рыночными доходами, полученными от определённой технологии на основе ПВИЭ. Несколько исследований (Фрипп и Вайзер (*Fripp and Wiser*, 2008); Йоскоу (*Joskow*, 2011); Хирт (*Hirth*) 2013 и 2015), посредством использования эмпирических рыночных данных или численного моделирования показали, что рыночная плата за электроэнергию, генерируемую на основе ПВИЭ, действительно уменьшается с долей последних в производстве электроэнергии. Это явление отражает более низкую ценность каждой дополнительной производственной единицы, использующей ПВИЭ, для энергосистемы и соответствует эквивалентному увеличению издержек на резервирование. Данное наблюдение играет важную роль, так как интернализация издержек на резервирование могла бы быть произведена, если бы все технологии подвергались воздействию сигналов рынка.²

Издержки на выравнивание нагрузок связаны с неопределённостью при производстве электроэнергии в связи с непредвиденными отключениями электростанции или ошибками, допущенными при прогнозировании производства. В случае электростанций, предусматривающих возможность диспетчерского управления, стоимость эксплуатационных резервов, как правило, определяется большими непредвиденными нарушениями режима эксплуатации большого блока (или двух самых больших блоков), подключенного к сети. В случае ПВИЭ, издержки на выравнивание нагрузок существенным образом связаны с неопределённостью выработки, которая может стать значительной при большом уровне мощности ПВИЭ в энергосистеме. Ввиду неопределённости выходной мощности ПВИЭ,

2. Подвергая все технологии воздействию рыночных цен на обычном рынке электроэнергии без механизма платы за мощность, можно было бы достичь интернализации большой доли издержек на резервирование.

график других электростанций энергосистемы должен изменяться чаще и ближе к реальному времени. Кроме того, ошибки при прогнозировании могут потребовать наличия большего количества элементов вращающегося резерва в энергосистеме. Это может привести к учащению эпизодов необходимости маневрирования на традиционных электростанциях, неэффективности планирования работы электростанции и к увеличению издержек всей энергосистемы в целом. В некоторых случаях, изменчивость ПВИЭ в интервале планирования энергосистем (не более одного часа) также учитывается в издержках на выравнивание.

Сетевые издержки отражают воздействия на сеть электропередачи и распределительную сеть, связанные с ограничениями по месторасположению электростанций. Несмотря на то, что все электростанции могут иметь некоторые ограничения, связанные с их местонахождением, данный фактор более значимым образом влияет на энергосистемы с ПВИЭ. Ввиду географических ограничений, может потребоваться строительство новых линий электропередачи или увеличение мощности существующей инфраструктуры (усиление энергосистемы) для передачи электроэнергии от центров производства к центрам нагрузки. Кроме того, потери при передаче имеют тенденцию к увеличению, когда электроэнергия передаётся на большие расстояния. Кроме того, наличие в энергосистеме большой доли распределённых фотоэлектрических ресурсов может потребовать значительных инвестиций в распределительную сеть, в частности, для обеспечения притока электроэнергии от производителя в сеть, когда объём вырабатываемой электроэнергии превышает спрос.

Издержки на подключение определяются как затраты на подключение электростанции к ближайшей точке подключения существующей сети электропередачи. Они могут быть значительными, особенно при необходимости подключения отдалённых ресурсов, что может происходить в случае с морскими ветряными электростанциями, а также при низких коэффициентах нагрузки или предусмотренных технологией более строгих требованиях по подключению, чем для атомных электростанций. Издержки на подключение иногда включаются в системные издержки (АЯЭ, 2012), но чаще всего они не считаются системными и косвенно включены в показатель LCOE как издержки на уровне электростанции. Сложность в данной оценке заключается в том, издержки на подключение иногда несёт застройщик электростанции, а иногда оператор сети электропередачи. В первом случае они включаются в издержки на уровне электростанции и, таким образом, полностью подвергаются полной интернализации; во втором случае они становятся частью системных издержек.

Вышеприведённая классификация не является исчерпывающей, так как существуют другие аспекты, которые могут оказывать ощутимое влияние на энергосистему, особенно при высоких долях возобновляемых источников энергии. Например, тот факт, что переменчивые возобновляемые источники энергии подключаются к сети посредством силовой электроники и, таким образом, являются асинхронными, снижает инерцию энергосистемы, несмотря на то, что современная силовая электроника может смягчить некоторые аспекты воздействия данного эффекта. Такое снижение влияет на способность системы восстанавливать целевой уровень частоты после аварии и, таким образом, нарушает общую устойчивость системы. Однако, насколько известно авторам, систематические попытки количественного определения экономического влияния в этом направлении не предпринимались и, по этой причине, другие эффекты не будут далее обсуждаться в этой главе.

Важно отметить, что различные категории не зависят друг от друга, но издержки могут «перемещаться» из одной категории в другую. Например, дополнительные инвестиции в инфраструктуру передачи и распределения, обуславливающие более высокие издержки на передачу, могут привести к удешевлению структуры генерирующих мощностей и снижению издержек на выравнивание нагрузок, таким образом, снижая два других компонента затрат. Подобным образом, использование более гибкой системы генерации, как правило, обходится дороже, однако позволяет снизить издержки на выравнивание нагрузок.

Такие трудности концептуального характера усугубляются задачей моделирования комплексной системы, такой как крупная взаимосвязанная электросеть. Для расчётов системных эффектов потребуется одновременная оптимизация сетей передачи и распределения вместе с оптимизацией системы производства с временными рамками, начинающимися с эпизодов краткосрочных эксплуатационных ограничений, которые исчисляются десятками минут, и заканчивающимися долгосрочным инвестиционным планированием, которое касается новых генерирующих мощностей и инфраструктуры передачи и распределения (Пир). Вычислительные возможности существующих инструментов не позволяют выполнять такие исчерпывающие расчёты, а существующие модели энергосистем могут отображать только некоторые аспекты целой системы и, следовательно, могут охватывать лишь некоторые группы воздействия одновременно. Например, некоторые модели могут оценить воздействия на сеть передачи и распределительную сеть, тогда как другие – только воздействие на выравнивание нагрузок, на требования к вращающемуся резерву или на издержки по манёвренности.

Системные издержки значимым образом зависят от характеристик анализируемой энергосистемы, от определённого типа генерирующей технологии и её доли в производстве. В то время как эти соображения касаются технологий всех типов, они имеют особую важность в отношении переменчивых

возобновляемых источников энергии. Специфические для каждой энергосистемы характеристики, такие как форма спроса на электроэнергию, отношение между нагрузкой и типом генерации на основе ПВИЭ, структура существующих генерирующих мощностей и географическое распределение ресурсов и нагрузки ПВИЭ, оказывают значительное влияние на системные издержки и потенциал внедрения ПВИЭ. Например, системные издержки будут ниже, если генерация электроэнергии на основе ПВИЭ совпадает со спросом, или если распределяемые ресурсы находятся ближе к основным центрам нагрузки. Аналогичным образом, энергосистемы с большим количеством управляемых ресурсов и объемом хранения имеют более низкие системные издержки, чем энергосистемы с меньшим уровнем управляемости. Также численный анализ и фактический опыт показывают, что все компоненты системных издержек и, в частности, издержки на резервирование, значительно повышаются с ростом доли ПВИЭ в производстве электроэнергии.

Таким образом, каждый результат является специфическим для энергосистемы и уровня внедрения ПВИЭ, для которых он был получен, и обычно не может быть легко применен или приспособлен к другой системе и другим условиям. Однако, если численные результаты могут отличаться, основные наблюдаемые тенденции и эффекты являются общими для всей энергосистемы и всех уровней внедрения.

Последним значимым аспектом является важность временного периода, выбранного для экономического анализа системных эффектов: общие экономические воздействия на энергосистему, возникающие в результате внедрения новой генерирующей мощности, а также воздействия на режим эксплуатации и экономическую рентабельность существующих активов в высшей степени зависят от промежутка времени, выбранного для их оценки. В краткосрочной перспективе энергосистема блокируется структурой существующих генерирующих мощностей и инфраструктурой, и не может быстро приспособливаться к внедрению новой технологии. В долгосрочной перспективе, наоборот, инфраструктура и производственная мощность могут быть изменены и приспособлены к новым рыночным условиям, обусловленным внедрением новой генерирующей мощности. Таким образом, результаты оценки системных издержек отличаются в зависимости от того, сделана ли оценка в краткосрочной перспективе с учётом многочисленных динамических процессов или в перспективе длительного равновесия.

Например, быстрое недавнее развёртывание большого объема ресурсов ПВИЭ во многих странах ОЭСР повлияло на условия электроэнергетических рынков ввиду значительного снижения средних цен на электроэнергию вместе с увеличением их изменчивости. Это привело к далеко идущим последствиям в отношении деятельности и доходов существующих электростанций. Кроме того, в долгосрочной перспективе размещение переменчивых ВИЭ приведёт к значительным изменениям традиционной структуры генерирующих мощностей в связи с переходом к пиковым и полупиковым электростанциям и уменьшением мощности для покрытия базовой нагрузки. Поскольку в конкурирующих энергосистемах цены устанавливаются переменными издержками на предельную технологию, *цены* в условиях длительного равновесия будут фактически такими же, как и ранее, пока ПВИЭ не станут предельными технологиями с эпизодами нулевых или отрицательных цен. При этом *расходы* будут повышаться по мере того, как большие мощности пиковых электростанций будут заменять мощности базовых электростанций, которые больше не будут востребованы в течение достаточно большого количества рабочих часов. Эпизоды с нулевыми или отрицательными ценами, разумеется, ещё более усугубят трудности последних.

Вставка 3.1: Краткосрочные последствия развёртывания ПВИЭ

В рамках настоящего исследования системные издержки и конкретные издержки на резервирование оценивались в долгосрочной перспективе, т. е. с применением принципа работы «с нуля». Даже если при этом не учитывались все затраты энергосистемы, существующие на сегодняшний день, такой подход позволяет производить объективное сравнение технологий без косвенного предпочтения действующих производителей в убыток новичкам.

Однако, необходимо признать, что быстрое недавнее развёртывание субсидированных ПВИЭ во многих странах ОЭСР оказало значительное воздействие на рынок электрической энергии, в частности, обусловив резкое снижение оптовых цен на электроэнергию и увеличение их изменчивости.* Это, в свою очередь, значимым образом сказалось на потоке доходов и прибыльности действующих энергетических объектов, таким образом, поставив под угрозу их финансовую стабильность и способность привлекать новые инвестиции. Последствия краткосрочного воздействия на рыночные цены наиболее остро ощутились в промышленности.

Как уже указывалось во введении, снижение рыночных цен на электроэнергию не обязательно представляет собой внешний эффект как таковой: внедрение более дешёвой и эффективной технологии в рыночных условиях, снижение спроса на электроэнергию или цен на топливо приведёт к снижению цен на электроэнергию и, таким образом, будет оказывать финансовое воздействие на действующих производителей/коммерческие предприятия. Однако, все эти причины являются частью промышленного риска производства электроэнергии и не должны рассматриваться как внешний эффект. Тот факт, что развёртывание ПВИЭ выполнялось вне рыночных механизмов, и что они не подвержены влиянию механизма обратной реакции на цены, является причиной того, что такие эффекты должны рассматриваться как «финансовые» внешние эффекты, даже если этот вопрос до сих пор вызывает противоречия. Как бы то ни было, далее будет просто представлено описание краткосрочного воздействия внедрения новых мощностей ПВИЭ на рынок без дальнейшего обсуждения того, являются ли такие эффекты экстерналиями.

В краткосрочной перспективе добавление новых мощностей ПВИЭ в энергосистему приводит к тому, что рынок электроэнергии испытывает влияние двух разных эффектов:

- 1) снижения коэффициента мощности существующих производителей, особенно тех, которые имеют наибольшие предельные издержки (*эффект сжатия*);
- 2) снижения рыночных цен на электроэнергию при генерации на основе ПВИЭ (*эффект маргинального ценообразования*), так как электростанции с большими предельными издержками вытесняются с рынка, что приводит к снижению спотовой и средней рыночной цены на электроэнергию, а также к сокращению инфрамаргинальной ренты для базовых и полупиковых электростанций.

Сочетание сниженного коэффициента мощности и сниженных средних цен на электроэнергию может привести к серьёзным последствиям для доходов существующих электростанций. Количественные оценки, выполненные АЯЭ (2012), показывают, что это явление влияет на всех существующих производителей, но такое влияние является более значимым для пиковых и полупиковых электростанций, как показано в таблице.

Краткосрочная электрическая нагрузка и потери прибыльности

Уровень замещения		10 %		30 %	
Технология		Ветровая энергия	Солнечная энергия	Ветровая энергия	Солнечная энергия
Напряжённые потери	Газотурбинная электростанция (ГТУ открытого цикла)	-54 %	-40 %	-87 %	-51 %
	Газотурбинная электростанция (ГТУ комбинированного цикла)	-34 %	-26 %	-71 %	43 %
	Угольная электростанция	-27 %	-28 %	-62 %	44 %
	Атомная электростанция	-4 %	-5 %	-20 %	-23 %
Потери прибыльности	Газотурбинная электростанция (ГТУ открытого цикла)	-54 %	-40 %	-37 %	-51 %
	Газотурбинная электростанция (ГТУ комбинированного цикла)	-42 %	-31 %	-79 %	46 %
	Угольная электростанция	-35 %	-30 %	-69 %	46 %
	Атомная электростанция	-24 %	-23 %	-55 %	-39 %
Изменчивость цен на электроэнергию		-14 %	-13 %	-33 %	-23 %

Эти результаты, основанные на упрощённом вычислительном эксперименте, подтверждаются анализом падения цены на электроэнергию в Германии и Швеции в период с 2008 по 2015 год (Хирт, 2016b). За данный промежуток времени средняя рыночная цена на электроэнергию снизилась на 59 % в Германии и на 57 % в Швеции. Среди различных отдельно анализируемых факторов (рыночная цена на уголь, газ и CO₂, изменение спроса на электроэнергию, импорт/экспорт электроэнергии, инвестиции в новые традиционные электростанции и поэтапный вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС в Германии, коэффициенты готовности гидро- или атомных электростанций) развёртывание переменных возобновляемых источников энергии оказало наибольшее влияние на падение цены: -24 % в Германии и -35 % в Швеции.

* Много других элементов оказали воздействие на резкое падение цен на электроэнергию, например, неожиданный спад спроса на электроэнергию, снижение цен на ископаемые виды топлива и углеродные квоты, а также дополнительные инвестиции в традиционные мощности.

† Важно отметить, что в это же время цены на электроэнергию для домашних хозяйств (включая все налоги и сборы) увеличились на 37 % в Германии и на 10 % в Швеции (источник: Евростат).

3.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки

Несмотря на то, что исследования системных эффектов начали проводиться относительно недавно, по данной теме существует достаточно большое количество литературы. Тем не менее, в связи с объективной сложностью анализа основное внимание в большинстве исследований уделяется только одному или двум компонентам системных издержек и, насколько известно авторам, полный и комплексный анализ системных эффектов всё ещё предстоит выполнить. Также, во множестве исследований анализируются и описываются воздействия внедрения большого количества ПВИЭ на систему, но в них не приводится точный расчёт системных издержек.

Практически во всех исследованиях внимание сосредоточено на системных издержках, связанных с внедрением ПВИЭ, и лишь незначительная доля внимания уделена традиционным технологиям, предусматривающим возможность диспетчерского управления. В этой области была предпринята лишь одна попытка исследования, когда в 2012 году АЯЭ опубликовало работу, в которой системные издержки при эксплуатации различных традиционных электростанций были сопоставлены с системными издержками от использования ПВИЭ. Кроме того, в подавляющем большинстве недавних исследований внимание фокусируется на воздействиях, оказываемых на структуру генерирующих мощностей (издержки на резервирование), или стоимости производства электроэнергии на основе ПВИЭ, в то время как количество исследований, посвящённых воздействиям на инфраструктуру сети электропередачи и распределительной сети или на издержки по выравниванию нагрузок, является более ограниченным.

Изучение результатов из разных литературных источников позволило обнаружить, что существует ряд результатов, которые подчёркивают трудности таких мероприятий. В частности, следует помнить о том, что на количественные результаты влияет множество факторов и предположений, которые могут в значительной степени отличаться в различных исследованиях:

- 1) проводится оценка для различных электростанций и для различных уровней внедрения ПВИЭ;
- 2) существуют различные предположения касательно доступности и стоимости технологий в будущем, в частности, в отношении мощностей для хранения энергии, интеллектуальной сети и управления спросом;
- 3) оценки издержек производятся в долгосрочной и краткосрочной перспективе;
- 4) существуют различные определения для каждого компонента системных издержек;
- 5) существуют различные модели, которые имеют разную степень сложности и разные возможности прогнозирования;
- 6) существуют различные базовые элементы для анализа.

Тем не менее, несмотря на данные трудности, в следующих пунктах представлены самые последние оценки различных категорий системных эффектов.

Издержки на резервирование и стоимость производства электроэнергии на основе ПВИЭ

В последние годы были приложены значительные усилия для того, чтобы понять, определить и количественно выразить воздействия внедрения ПВИЭ на остаточную нагрузку и структуру генерирующих мощностей. В долгосрочной перспективе широкое внедрение ПВИЭ приведёт к значительным изменениям традиционной структуры генерирующих мощностей с увеличением требуемой общей мощности³, а также переходом от базовых электростанций к пиковым и полупиковым. С точки зрения вырабатываемой электроэнергии, доля базовой генерации сокращается и заменяется пиковыми и полупиковыми электростанциями. Этот эффект показан на рис. 3.1, где остаточная нагрузка для системы с заданной мощностью ПВИЭ (ветряные электростанции с долей, составляющей 30 % (синяя кривая)) сравнивается с нагрузкой энергосистемы, в которой вырабатывается такой же объём энергии за счет мощности для покрытия базовой нагрузки (30 % от спроса (красная кривая)): разница между данными кривыми составляет основу издержек на резервирование. В большинстве случаев стоимость обеспечения остаточной нагрузки в энергосистеме с ПВИЭ является более высокой, чем в энергосистеме, где таковые отсутствуют, и эта стоимость значительно возрастает по мере роста уровня их внедрения.

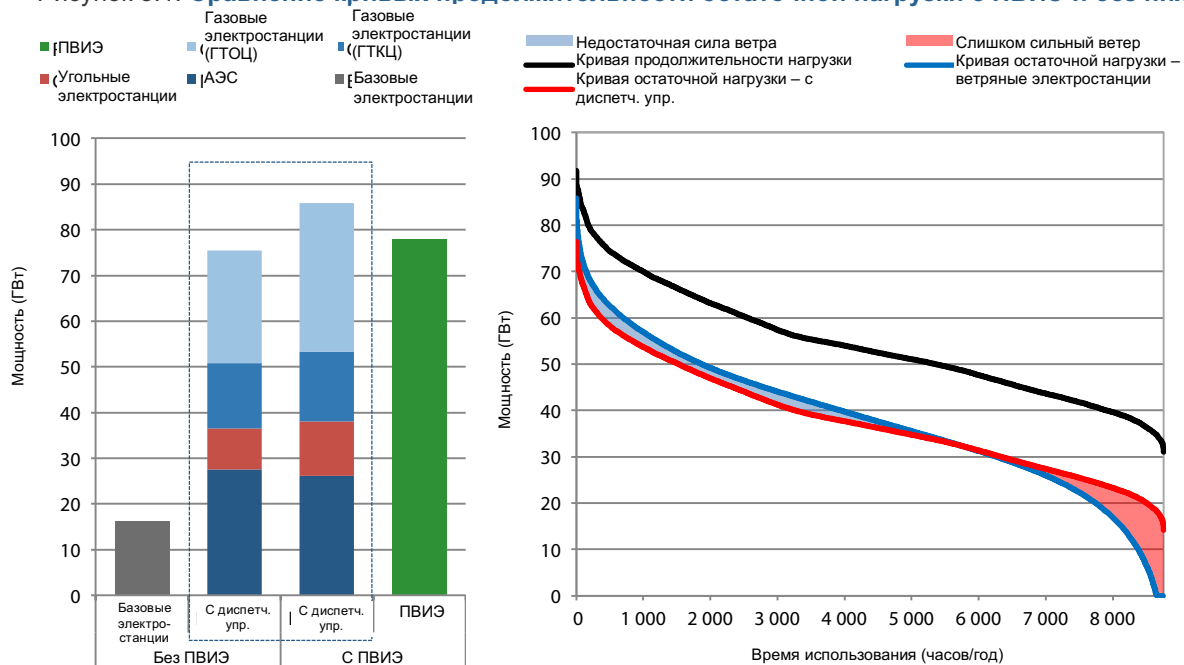
Несмотря на существование широкого консенсуса относительно воздействия внедрения ПВИЭ, количественная оценка издержек на резервирование требует значительных усилий в области моделирования, а результаты существенным образом зависят от определения большого количества

3. В связи с тем, что фактическая мощность установок ПВИЭ является, как правило, более низкой, то для обеспечения требуемого уровня остаточной нагрузки необходима более высокая мощность электростанций с возможностью диспетчерского управления (в случае отсутствия управления хранением и спросом).

параметров и предположений. Кроме того, на результаты влияют качество и точность используемых вычислительных средств. Например, методы, основанные на кривых продолжительности остаточной нагрузки, не подходят для того, чтобы надлежащим образом учесть возможности для хранения энергии, имеющиеся в энергосистеме, а также возможности для регулирования спроса, тем самым, косвенно переоценивая издержки на резервирование. Более того, данные модели не позволяют должным образом описать технические ограничения в отношении управляемости всех традиционных электростанций, а также учесть соответствующие затраты, которые ведут к заниженной оценке издержек на резервирование. Данные ограничения преодолеваются, по крайней мере частично, с помощью более сложных средств моделирования, основанных на моделях с возможностью диспетчерского управления и моделях выбора состава работающего оборудования электростанций.

Кроме того, в большинстве исследований были предприняты попытки оценить снижение стоимости генерации на основе ПВИЭ с увеличением доли генерации на основе ПВИЭ, которая часто выражается в качестве доли стоимости производства электроэнергии базовой нагрузки, в то время как лишь несколько авторов приводят результаты непосредственной оценки издержек на резервирование. Как было указано выше, эти два показателя главным образом описывают один и тот же эффект, а результаты различных исследований в этом отношении не содержат противоречий; однако, трудно объяснить однозначно оценку «стоимости» генерации на основе ПВИЭ с точки зрения «издержек на резервирование» и наоборот.

Рисунок 3.1: Сравнение кривых продолжительности остаточной нагрузки с ПВИЭ и без них



Источник: АЯЭ, 2012.

В литературе мало примеров оценки издержек на резервирование, но все они свидетельствуют о том, что такие затраты достигают значительного размера, особенно при высоких уровнях внедрения ПВИЭ: АЯЭ и МЭА представили очень схожие оценки для ветровой энергии с помощью модели, основанной на кривой продолжительности остаточной нагрузки; значения находятся в диапазоне от 4 до 10 долларов США за МВт·ч при уровнях замещения, составляющих 10 % и 30 % (МЭА, 2014 и АЯЭ, 2012). Результаты для фотоэлектрической солнечной энергии показали более широкий спектр, который, вероятно, отражает анализ различных систем: для двух уровней замещения, составляющих 10 % и 30 %, по оценкам МЭА результаты находятся в диапазоне от 4 до 15 долларов США за МВт·ч, в то время как результаты АЯЭ находятся в диапазоне от 13 до 26 долларов США за МВт·ч. Эта разница объясняется отличиями анализируемых систем. Один ключевой параметр в данном случае представляет собой взаимосвязь между производством электроэнергии посредством солнечной генерации и спросом, который значительно изменяется в зависимости от страны. Другие оценки издержек на резервирование были получены Хиртом с помощью модели, предусматривающей возможность диспетчерского управления и выбора состава работающего оборудования электростанций, или путём изучения литературы (Иккердт и др. (Ueckerdt et

al., 2013)).⁴ При очень низких уровнях замещения (несколько процентов от спроса) предельные издержки на резервирование незначительны и могут быть как положительными, так и отрицательными, в зависимости от взаимосвязи между производством электроэнергии посредством ветрогенерации и спросом. Для ветровой энергии при уровне замещения, составляющем 30 %, предельные издержки на резервирование оцениваются в размере 30 евро за МВт·ч для Германии и от 14 до 35 евро за МВт·ч для стран Северо-Западной Европы. В целом углублённый анализ около 30 исследований по издержкам на резервирование даёт возможность оценить издержки на резервирование в долгосрочной перспективе в диапазоне от 15 до 25 евро за МВт·ч для ветровой энергии при уровне замещения, составляющем 30 % (Хирт, 2013). В отношении фотоэлектрической солнечной энергии, в большинстве исследований представлена непосредственным образом рассчитанная стоимость производства энергии за счёт солнца без прямой оценки издержек на резервирование (см. следующий пункт). В Лёвенском католическом университете (Деларю и др. (*Delarue et al.*, 2016)) оценили издержки на резервирование в размере от 3,3 до 8,4 евро за МВт·ч для Бельгии и от 6,5 до 12,6 евро за МВт·ч для стран центральной части Западной Европы, при условии, что темпы внедрения комбинированной фотоэлектрической солнечной и ветровой энергии составляют 19 % и 35 %.

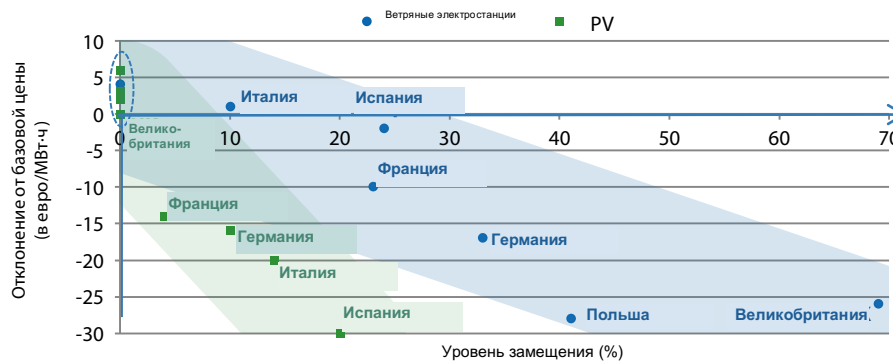
Во множестве исследований представлены аналогичные заключения, которые основаны на концепции «стоимости производства энергии из ПВИЭ» относительно технологии базовой нагрузки: она выражается либо в относительных показателях как отношение между рыночной ценой для ПВИЭ и средней ценой для технологии базовой нагрузки; либо в абсолютных показателях как разница между двумя ценами (пример последнего представлен на рис. 3.2). Рыночная стоимость производства энергии из ПВИЭ подразумевает общую сумму компенсации, получаемой электростанцией, работающей на ПВИЭ, на рынке при условии, что цена на электроэнергию является стоимостью используемой предельной технологии. Исходя из гипотезы идеального рынка, эта цена отражает стоимость для системы производства электроэнергии. Для первой единицы электроэнергии, произведённой из ПВИЭ, рыночная стоимость может быть выше или ниже базовой цены на электроэнергию, в зависимости от взаимосвязи между производством энергии из ПВИЭ и спросом; в целом она является положительной для фотоэлектрической солнечной энергии, поскольку, как правило, спрос на электроэнергию в течение дня, когда фотоэлектрические солнечные электростанции производят электроэнергию, является более высоким, особенно в тех странах, где используется большое количество систем кондиционирования воздуха. Однако, рыночная стоимость ПВИЭ быстро снижается по мере их внедрения. Этот эффект вызван тем фактом, что производитель электроэнергии из ПВИЭ предположительно будет вырабатывать электроэнергию, когда и другие производители электроэнергии из ПВИЭ также будут вырабатывать электроэнергию, тем самым сокращая её стоимость. И наоборот, цены на электроэнергию будут выше, если ПВИЭ не будут использоваться для производства электроэнергии, поскольку на рынок будет поставляться меньше электроэнергии. Все изученные исследования показывают, что рыночная стоимость ПВИЭ значительно снижается по мере роста уровня их внедрения, и такое снижение является более значительным для фотоэлектрической солнечной энергии, чем для ветровой энергии, поскольку производство фотоэлектрической солнечной энергии имеет место лишь в течение нескольких часов в день.

Французской компанией-производителем электроэнергии EDF было проведено детальное исследование с целью анализа технических и экономических последствий внедрения 40 % ПВИЭ в масштабе Европы (EDF, 2015). Результаты подтверждают, что разница по сравнению с ценой выработки в базовом режиме является незначительной для первого мегаватта ветровой или фотоэлектрической солнечной энергии и находится в диапазоне от +6 евро до -1 евро за МВт·ч в зависимости от отличительных особенностей, характерных для конкретной страны. С другой стороны, этот разрыв становится важным, когда достигается поставленная цель, при которой доля ПВИЭ составляет 40 % в масштабах Европы. Тенденции, характерные для конкретной страны, в отношении фотоэлектрической солнечной энергии и ветровой энергии представлены на рис. 3.2. Аналогичные результаты, полученные посредством моделирования для нескольких стран континентальной Европы (Бельгия, Германия, Нидерланды, Польша и Франция), были представлены Хиртом (2013). Коэффициент стоимости ветровой энергии, который изначально был на 10 % выше рыночной стоимости, значительно уменьшился, упав до уровня 65 % от цены выработки в базовом режиме при уровне замещения, составляющем 30 %. Данные числовые результаты подтверждаются при обзоре исследований и анализе исторических данных различных европейских рынков. Более поздний анализ показывает, что уровень снижения коэффициента стоимости немного меньше того, что был выражен в отношении более управляемых систем со значительной долей гидроресурсов (Хирт, 2016а). Более значительные перепады характерны для фотоэлектрической солнечной энергии, для которой коэффициент стоимости уменьшается более

4. Следует отметить, что авторы выполнили расчёт предельных издержек на резервирование, т. е. издержек на резервирование за последнюю силовую установку, внедрённую в систему, в то время как МЭА и АЭЭ рассчитали средние издержки на резервирование. В данных условиях предельные издержки на резервирование по своей сути являются более высокими, чем средние издержки на резервирование.

существенным образом, приближаясь к уровню 60 % от базовой стоимости при степени замещения, составляющей 15 % (Хирт, 2015b). Недавний количественный анализ АЯЭ также подтверждает такие тенденции (АЯЭ, выпуск готовится к публикации): в системе с высоким уровнем управляемости коэффициент стоимости для наземной ветровой электростанции достигает 80 % и 70 % от стоимости выработки в базовом режиме при уровне замещения, составляющем 30 % и 40 %. Коэффициент стоимости для фотоэлектрической солнечной энергии достигает 60 % от цены выработки в базовом режиме при уровне замещения, составляющем 12,5 %, и стоимость резко падает лишь при коэффициенте стоимости, составляющем 30 %, когда достигается уровень замещения, равный 20 %.

Рисунок 3.2: Сравнение стоимости производства на основе ПВИЭ с выработкой в базовом режиме для разных стран



Источник: по материалам EDF, 2015.

Издержки на выравнивание нагрузок

Если определение издержек на выравнивание нагрузок не вызывает затруднений, разные исследования отличаются друг от друга в плане учитываемых элементов и используемых методик: 1) некоторые работы, в отличие от других, включают издержки на содержание элементов вращающегося резерва; 2) разные исследования дают разные определения понятия «краткосрочности» и 3) в некоторых исследованиях используется текущая рыночная цена нарушения баланса мощности, в то время как другие работы полагаются на данные, полученные в результате моделирования. Только в небольшом количестве исследований произведена оценка затрат, связанных с растущим износом оборудования традиционных электростанций из-за дополнительных рабочих циклов.

В литературе издержки на выравнивание нагрузок для ветровой энергии находятся в пределах от 1 до 7 долларов США за МВт·ч в зависимости от уровня внедрения и контекста системы (Хирт, 2013, Холтинен и др. (Holtinen et al.), 2011). Для энергосистем на тепловой основе более поздние оценки издержек на выравнивание нагрузок находятся в диапазоне от 2 до 6 евро/МВт·ч (Хирт и др., 2015 и Холтинен, 2013), в то время, как уровень таких затрат значительно ниже, т. е. меньше чем 1 евро за МВт·ч, в энергосистемах с гидроэлектростанциями высокой мощности. Однако, AGORA (2015) отмечает, что исследования, производящие оценку издержек на выравнивание нагрузок на основе рыночных данных, получают более высокие значения издержек на выравнивание нагрузок, чем исследования, в которых за основу взяты данные моделей; это отражает факт того, что цена, которую сегодня платят производители за нарушения баланса мощности, часто не соответствует затратам. Например, издержки на выравнивание нагрузок, касающиеся ветроэнергетики в Австрии, были оценены в 11 евро за МВт·ч на основании рыночных данных (e3 consult, 2014). Лёвенский католический университет оценил издержки на выравнивание нагрузок в Бельгии и странах центральной части Западной Европы для разных уровней внедрения ПВИЭ (от 19 до 35 % фотоэлектрической солнечной и ветровой энергии). Оценки издержек на выравнивание нагрузок находятся в пределах от 2,1 до 4,7 евро за МВт·ч в Бельгии и от 1,4 до 3,6 евро за МВт·ч в странах центральной части Западной Европы (Деларю и др. 2016).

Литературные источники в отношении издержек на выравнивание нагрузок в фотоэлектрической солнечной энергетике не столь обширны, однако приводимые в них значения намного ниже значений, полученных для ветроэнергетики по причине лучшей возможности прогнозирования в солнечной энергетике: PV Parity (2013) оценивает издержки на выравнивание нагрузок для фотоэлектрической солнечной энергии в пределах от 0,5 до 1 евро за МВт·ч. Наконец, растущий износ оборудования, связанный с учащением и глубокими изменениями циклов традиционных электростанций, был предметом интеграционного исследования, выполненного Национальной лабораторией по изучению возобновляемой энергии, в Соединенных Штатах Америки (Лью и др., (Lew et al., 2013)). В результате исследования сделано заключение о том, что учащение циклов электростанции привело к очень низким дополнительным затратам в диапазоне от 0,1 до 0,7 долларов США за МВт·ч генерации на основе ПВИЭ при уровне замещения, равном 33%.

Несмотря на возможность диспетчерского управления и прогнозирования выработки, за исключением технических аварий, некоторые издержки на выравнивание нагрузок должны быть отнесены к атомной энергетике. Данные затраты, составляющие менее 1 евро за МВт·ч, объясняются тем, что атомные электростанции являются установками с наивысшей мощностью. Системы электроснабжения всегда должны поддерживать вращающийся резерв в соответствии с критерием N-1, что означает, что система должна быть способна продолжать подачу полной мощности, даже при отказе одного из её элементов. Логично, что данные вращающиеся резервы эталонированы на самой большой электростанции в энергосистеме, которой оказывается атомная электростанция. При использовании реакторов меньшей мощности издержки на выравнивание нагрузок на атомных электростанциях, уже первоначально будучи не очень большими, могут иметь ещё более низкий уровень.

В заключение, самые недавние оценки издержек на выравнивание нагрузок находятся в пределах от 2 до 6 евро за МВт·ч для ветровой энергии в тепловых энергосистемах, уровень соответствующих издержек фотоэлектрической солнечной энергии, ветровой энергии в гидроэнергетических системах или в атомной энергетике значительно ниже и составляет менее 1 евро за МВт·ч.

Сетевые издержки (передача и распределение) и издержки на подключение

В последнее время основная аналитическая работа была проведена в Соединенных Штатах Америки и в нескольких европейских странах для оценки затрат на расширение инфраструктуры передачи и распределения, связанное с развёртыванием ПВИЭ, особый акцент сделан на наземную ветроэнергетику.

Интеграционные исследования были проведены для трёх взаимосвязанных систем в США для уровня внедрения ПВИЭ около 30% (NREL, 2015). Дополнительные сетевые издержки составляют от 2 до 6 долларов США для PJM (GE Energy, 2014), около 9 долларов США за МВт·ч для Восточной энергосистемы (Корбус и др., (Corbus et al., 2011)) и около 2 долларов США за МВт·ч для Западной энергосистемы (Лью др., 2013).

Аналитический центр AGORA (2015) произвёл количественную оценку дополнительных затрат на передачу и распределение в Германии на основе трёх исследований, выполненных немецким оператором сети Consentec и консалтинговой компанией при Министерстве экономики Германии. В соответствии с этими тремя исследованиями, издержки на передачу возрастают на 5 евро за МВт·ч для наземных ветряных и фотоэлектрических солнечных электростанций и на 30 долларов США за МВт·ч для морских ветряных электростанций. Дополнительные затраты на распределение находятся в пределах от 6 до 14 евро за МВт·ч.

Другие исследования были выполнены для отдельных стран Европейского Союза: в Ирландии дополнительные затраты на передачу находятся в пределах от 2 до 10 евро за МВт·ч при уровне замещения от 16 до 59 % (МЭА, 2011), отчётные значения исследования Холтина и др. (2011) находятся в диапазоне от 2 до 7 евро за МВт·ч с уровнем замещения, не превышающем 40 %. Среднее значение затрат в некоторых европейских странах составляет 7 евро за МВт·ч при наличии больших различий между странами, являющимися предметом анализа (КЕМА, 2014). Сетевые издержки в Бельгии были оценены приблизительно в 3 евро за МВт·ч Лёвенским Католическим университетом при уровнях внедрения ПВИЭ, составляющих от 19 до 35 % (Делярю и др., 2016).

В отношении фотоэлектрической солнечной энергии, проект PV Parity оценил дополнительные издержки на передачу в 0,6 евро за МВт·ч для 2020 года, которые с ростом уровня замещения возрастут до 3 евро за МВт·ч к 2030 году. Усиление распределительной сети для размещения более распределённых ресурсов фотоэлектрической солнечной энергии может стоить около 9 евро за 1 МВт·ч к 2030 году (PV Parity, 2013).

В итоге, произведённые количественные оценки сетевых издержек характеризуются высоким уровнем неоднородности, отражая специфические свойства каждой отдельной энергосистемы, разных проанализированных уровней замещения, и зависят от того, были ли включены издержки на распределение или нет, а также и от специфических методологических предположений. Тем не менее, имеющиеся оценки находятся в широком диапазоне от нескольких долларов США/МВт·ч до 10-20 евро за МВт·ч.

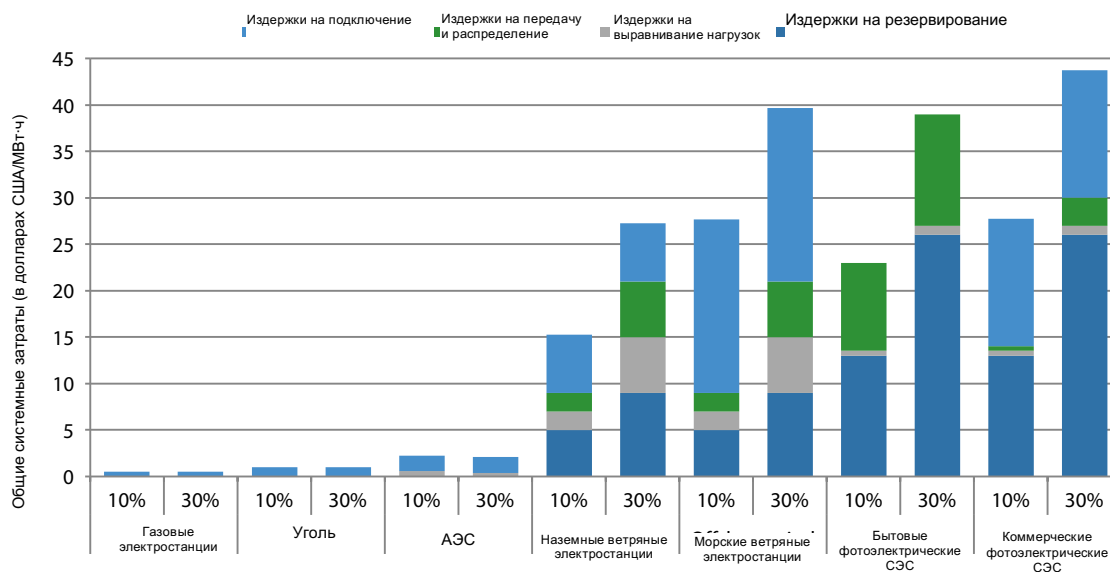
Издержки на подключение, т. е. затраты на подсоединение электростанции к ближайшей точке подключения существующей высоковольтной распределительной сети, только редко учитываются в исследованиях системных издержек, так как эти затраты часто несёт застройщик электростанции, в связи с чем они относятся к издержкам на уровне электростанции. Однако существуют случаи, при которых издержки на подключение оплачиваются оператором сети электропередачи, таким образом, они становятся частью системных издержек. Кроме того, издержки на подключение не учитываются в методологии расчёта показателя LCOE, разработанной АЯЭ и МЭА. Для полноты анализа в следующих пунктах показаны и рассмотрены оценки, произведенные АЯЭ (2012).

Издержки на подключение являются в большой степени проектно-зависимыми, а потому существенно отличаются в разных странах и в разных проектах внутри одной страны; однако их влияние может быть значительным, особенно при необходимости подключения к сети отдалённых источников. В целом, более высокими являются издержки на подключение для проектов ветровой энергетики и фотоэлектрической солнечной энергетики,⁵ из-за более низких коэффициентов нагрузки и расстояния между используемыми источниками и сетью. Для морской ветроэнергетики предполагаются более высокие издержки, отражающие дополнительную сложность подключения источников с помощью подземных кабелей. В отношении технологий, предусматривающих возможность диспетчерского управления, наибольшие издержки имеют атомные электростанции, в основном по причине требования наличия двух физически независимых точек подключения к сети в целях обеспечения безопасности. Результаты оценки в исследовании АЯЭ, усреднённые для разных стран, составляют около 0,5 евро за МВт·ч для угольной, 2 доллара США за МВт·ч для атомной, 6 долларов США за МВт·ч для наземной ветровой, 14 долларов США за МВт·ч для фотоэлектрической солнечной и около 20 долларов США за МВт·ч для морской ветроэнергетики.

Долгосрочные системные издержки: обобщение

На рис. 3.3 представлен пример воспроизведения общих системных издержек для различных традиционных и возобновляемых технологий, основанного на результатах публикаций, представленных в данной главе, для двух характерных уровней внедрения. Данные оценки не отражают результатов для одной определённой страны, а скорее показывают «усреднённое значение» различных оценок, найденных в литературе. Как было указано в данной главе, системные эффекты значимым образом зависят от конкретной страны, а их разные компоненты в значительной степени взаимосвязаны, что ограничивает возможность сложения компонентов, полученных от различных вычислительных экспериментов. Целью данного примера, таким образом, является не выражение оценки системных эффектов для отдельной ситуации, а скорее наглядное отображение порядка величины их значений для различных технологий.

Рисунок 3.3: Системные издержки различных технологий производства



Необходимо напомнить, что точные воздействия зависят от структуры генерирующих мощностей, режима ценообразования на выбросы двуокиси углерода, формы поддержки возобновляемых источников энергии и, в частности, доступности гибких ресурсов на стороне предложения и на стороне спроса. Особую роль в данном контексте имеет взаимосвязь производства электроэнергии и спроса. Если она адекватна, как бывает, когда пик солнечной генерации совпадает с пиком спроса по причине кондиционирования воздуха, издержки на резервирование существенно снижаются, по крайней мере, при скромных уровнях замещения. Несмотря на данные оговорки, можно сделать заключение о том, что

5. Издержки на подключение не применяются к распределённым бытовым фотоэлектрическим солнечным установкам, а только к инфраструктуре крупных солнечных электростанций.

системные издержки переменчивых технологий (ветровой и фотоэлектрической солнечной) на порядок выше, чем для технологий, предусматривающих диспетчерское управление.

3.4. Перспективы интернализации

Широкомасштабное развитие возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и фотоэлектрическая солнечная энергия, произошедшее за последние годы, поощрялось крупными специальными планами поддержки, часто основанными на зелёных тарифах, установленных во многих странах ОЭСР. Обоснованием данного выбора было внедрение нового низкоуглеродного источника в структуру вырабатываемой электроэнергии для уменьшения зависимости от импорта электроэнергии, для разработки конкурентного сектора, который мог бы оказать положительное влияние на занятость и развитие промышленности, а также для обеспечения эффективного снижения затрат, связанных с генерацией на основе ПВИЭ. Данная политика, несомненно, была эффективной при развёртывании ПВИЭ и обеспечила в данной области значительное снижение издержек на уровне электростанции: ветроэнергетика и фотоэлектрическая солнечная энергетика прошли стадию становления и достигли производственной зрелости, позволяющей им соперничать с традиционными технологиями на некоторых рынках стран ОЭСР. Однако, изолируя данные технологии от рыночных механизмов, такая политика также привела к непреднамеренным последствиям для рынков электроэнергии и для экономических показателей существующих производителей и коммерческих предприятий. Масштаб системных издержек, связанный с развёртыванием переменчивых возобновляемых источников энергии и влияние, которое они оказывают на энергосистемы, вызывает необходимость изменения существующих планов поддержки и внедрения тщательно продуманных рыночных механизмов для обеспечения эффективного экономического развития энергосистем. Говоря более конкретно, важно, чтобы системные издержки учитывались правительствами, и, в пределах возможности, подвергались интернализации на будущих рынках электроэнергии. Для некоторых категорий издержек, определённых выше, таких как издержки на подключение и издержки на резервирование, интернализация может быть произведена относительно простым способом, в отношении других компонентов эта задача является более сложной.

В высшей степени важно, чтобы все технологии были подвержены влиянию рыночных цен для урегулирования размера выплат со стоимостью электроэнергии, поступающей в энергосистему. Это особенно значимо для технологий, в которых стоимость выработки электроэнергии для энергосистемы значительно изменяется в зависимости от уровня замещения. В этом отношении зелёные тарифы (ЗТ) или любой другой рыночный механизм фактически ограждают производителя от рыночной цены, включающей контракты на разницу цен (КРЦ), и их следует заменить другими механизмами, которые будут обеспечивать определённый уровень гарантии дохода, но также поддерживать определённый уровень зависимости от рыночных цен. Надбавки к зелёному тарифу (НЗТ, гарантирующие выплату поверх доходов рынка электроэнергии) или другие механизмы, компенсирующие постоянно поддерживаемый уровень мощности электростанций, представляются возможными вариантами. Аналогичных результатов можно было бы достичь, предоставив возможность заключения долгосрочных контрактов на поставку определённого объёма электроэнергии в течение года на постоянной основе. Рассуждая далее, если бы каждая технология была подвержена влиянию рыночной цены, этого было бы достаточно для интернализации большей части издержек на резервирование, ограничения действия финансовых внешних эффектов на существующих производителей, а также для предотвращения некоторых непреднамеренных последствий предоставления технологиям фиксированной компенсации, таких как появление на рынке отрицательных цен на электроэнергию.

По той же причине важно, чтобы интернализация издержек на подключение производилась посредством привязки затрат на подключение к сети электропередачи или распределяющей сети к каждой электростанции. Скрытие издержек на подключение от застройщика электростанции, например, посредством возложения полной или частичной ответственности за эти затраты на системного оператора передающей сети (СОПС) с последующим их перераспределением между потребителями, приводит к неоптимальным результатам.⁶ Например, застройщик электростанции будет склоняться в пользу

6. При очень точных подсчётах сетевых издержек потребуется учёт разных сроков эксплуатации оборудования для передачи и распределения с одной стороны и оборудования для генерации – с другой. Если срок эксплуатации

максимально возможного коэффициента нагрузки, несмотря на более высокие издержки на подключение, если их несёт третья сторона. Этот вариант мог бы минимизировать частные издержки на уровне электростанции для застройщика, но привел бы к повышению общих затрат на производство электроэнергии.

В то время как привязка и интернализация издержек на подключение и издержек на резервирование просты и, в определённой степени, легко достижимы, вопрос с другими компонентами системных издержек (издержки на выравнивание нагрузок, издержки на передачу и распределение) является более сложным. В частности, проблематично связать эти затраты непосредственно с каждым участником рынка. Например, усиление существующей (или построение новой) пропускной способности энергообъединения между двумя регионами может быть мотивировано внедрением новых мощностей на основе ПВИЭ и, следовательно, служить главным образом этой цели. Однако такое усиление даёт другие преимущества для всей энергосистемы, например, такие как уменьшение перегрузки сети или снижение общих требований к выравниванию нагрузок. Точная привязка затрат и выгод по разным компонентам системы практически невозможна в большинстве случаев.

Что касается издержек на выравнивание нагрузок и, в более широком смысле, предоставления системных услуг, важно обеспечить эффективную компенсацию поставщиков услуг. Создание рынка этих услуг может стать первым шагом по обеспечению экономической возможности их предоставления в долгосрочной перспективе. Тем не менее, строго говоря, такие механизмы не позволяют выполнить привязку таких дополнительных затрат к тем, кто является их причиной, и, таким образом, они неэффективны для целей интернализации. Введение альтернативного механизма могло бы потребовать предоставления определённых услуг всеми производителями: например, потребовать от всех производителей обеспечения гарантированной выдачи на основании годового объёма производимой электроэнергии. Поставщики, на которых распространяется такое требование, могли бы либо самостоятельно оказывать данную услугу, либо покупать её на рынке.

Аналогично, привязка дополнительных сетевых издержек к каждому производителю весьма проблематична и, следовательно, интернализация таких затрат сложна. Тем не менее, возможна разработка механизмов, позволяющих проводить частичную интернализацию географических ограничений. Примером является географическое ценообразование, при котором дифференцированное ценообразование на оптовом рынке отражает разную стоимость выработанной электроэнергии в зависимости от местоположения и косвенно учитывает сетевые издержки. В принципе, со стороны спроса могут быть предложены симметричные меры. Однако до настоящего момента трудности при вычислении, транзакционные издержки и соображения социального характера ограничивали дифференциацию цены по местоположению потребителей.

3.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Тема системных эффектов появилась в последние несколько лет в политических дебатах одновременно с развёртыванием крупных переменчивых возобновляемых источников энергии во многих странах ОЭСР. Несмотря на новизну, объём литературы по этой теме быстро растёт, и были заложены солидные основы для определения, понимания и количественной оценки таких эффектов. Однако количественное выражение системных издержек – это сложное предприятие, требующее расширенных возможностей моделирования. Кроме того, результаты специфичны для каждой страны и технологии, обусловлены принятым уровнем замещения, а также существенно зависят от множества субъективных допущений относительно наличия и стоимости разных возможностей обеспечения управляемости в будущем. Таким образом, количественные оценки системных издержек значимым образом отличаются в разных исследованиях и по своему характеру подвержены большому количеству факторов неопределённости.

Однако в большей части произведённых оценок признается, что размер системных издержек, связанных с внедрением ПВИЭ, значителен и непропорционален уровню замещения. Медианные

первого значительно больше, первоначальные издержки на сетевое оборудование можно будет распределить на несколько поколений генерирующего оборудования. Поскольку порядок величин аналогичен, в расчёты АЯЭ такие отличия не вводились.

значения оценок общих системных издержек отражают диапазон затрат в размере 15 долларов США за МВт для наземной ветроэнергетики, 20 долларов США за МВт – для фотоэлектрической солнечной энергетики и 25 долларов США за МВт – для морской ветроэнергетики при уровне замещения 10 %. При уровне замещения 30 % системные издержки значительно возрастают, приближаясь к 25 долларам США за МВт для наземной ветроэнергетики и к 40 долларам США за МВт – для фотоэлектрической солнечной энергетики и морской ветроэнергетики. Для сравнения, системные издержки технологий, предусматривающих возможность диспетчерского управления, таких как угольная, газовая, атомная энергетика или гидроэнергетика, как минимум, на один порядок ниже.

Быстрое развёртывание ПВИЭ на рынках ОЭСР, поощряемое целевыми политиками, фактически оградившими эти технологии от рыночных механизмов, вызвало важные краткосрочные эффекты. Недавний опыт на рынках электроэнергии продемонстрировал, что внедрение ПВИЭ, даже при скромных уровнях замещения, оказало большое влияние на уровень и изменчивость цен на электроэнергию и поставило под угрозу экономические показатели существующих производителей и действующих коммерческих предприятий.

Учитывая масштабы системных эффектов и воздействий на рынки электрической энергии, правительства и политики должны держать курс на их максимальную интернализацию. Говоря более конкретно, настоятельно необходимо, чтобы все технологии были подвержены влиянию рыночных цен и несли в полном объёме издержки на подключение электростанции к инфраструктуре сети электропередачи и распределительной сети. Если политика направлена на продвижение развития низкоуглеродных технологий, она должна в первую очередь сосредоточиться на установлении адекватной и правдоподобной цены на выбросы, и, вероятно, могла бы сочетаться с другими формами технологически нейтральных стимулов для низкоуглеродных технологий. Однако такие стимулы должны оставлять каждого производителя в условиях влияния рыночных цен и, тем самым, связывать компенсацию с ценой на электрическую энергию, подаваемую в систему. Такие механизмы, как надбавки к зелёному тарифу посредством свободных торгов или долгосрочные контракты, основывающиеся на рыночных ценах, кажутся подходящими вариантами.

Список литературы

- AGORA (2015), *The Integration Costs of Wind and Solar Power - An overview of the Debate on the Effects of Adding Wind and Solar Photovoltaic into Power Systems*, by Furstnerwerth, D., D. Pescia and P. Litz, AGORA Energiewende, November.
- Corbus, D. et al. (2011), *Eastern Wind Integration and Transmission Study*, report prepared by Enernex Corporation for NREL, NREL/SR-5500-47078, February.
- Delarue, E., D. Van Hertem, K. Bruninx, H. Ergun, K. May and K. Van den Bergh (2016), *Determining the impact of renewable energy on balancing costs, back up costs, grid costs and subsidies*, Catholic University Leuven, October.
- e3 consult (2014), *Ausgleichsenergiekosten der Oekostrombilanzgruppe fuer Windkraftanlagen Endfassung*, Study for Interessengemeinschaft Windkraft Osterreich, Innsbruck, www.igwindkraft.at/mmedia/download/2014.05.21/1400704191703835.pdf.
- EDF (2015), *Technical and economic analysis of the European electricity system with 60% RES*, Figure 17, p. 19, by Burtin, A. and V. Silva, EDF Research and Development Division, June, www.energypost.eu/wp-content/uploads/2015/06/EDF-study-for-download-on-EP.pdf.
- Fripp, M. and R.H. Wiser (2008), "Effects of temporal wind patterns in the value of windgenerated electricity in California and the northwest", IEEE, *Transactions on Power Systems*, Vol. 23(2), pp. 477-485.
- GE Energy (2012), "PJM Renewable Integration Study", K. Porter et al., report prepared by GE Energy Consulting and Exeter Associates for PJM Interconnection, November.
- Hirth, L. (2016a), "The benefits of flexibility: The value of wind energy with hydropower", *Applied Energy*, Vol. 181, pp. 210-223.
- Hirth, L. (2016b), "What Caused the Drop in European Electricity Prices? A Factor Decomposition Analysis",

- USAAE Working Paper No. 16-282, November, <https://ssrn.com/abstract=2874841>.
- Hirth, L. (2015a), "The optimal share of variable renewables", *The Energy Journal*, Vol. 36(1), pp. 127-162.
- Hirth, L. (2015b), "The market value of solar power: Is photovoltaics cost-competitive?", *IET Renewable Power Generation*, Vol. 9, Issue 1, pp. 37-45.
- Hirth, L. (2013), "The market value of variable renewables: The effect of solar wind power variability on their relative price", *Energy Economics*, Vol. 38, pp. 218-236.
- Hirth, L., F. Ueckerdt and O. Edenhofer (2015), "Integration costs revisited - An economic framework for wind and solar variability", *Renewable Energy*, Vol. 74, pp. 925-939.
- Holttinen, H. et al. (2013), *Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power*, Final Summary Report, IEA WIND Task 25, Phase 2, pp. 2009-2011, www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2493.pdf.
- Holttinen, H. et al. (2011), "Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems", Wiley, *Wind Energy*, Vol. 14, Issue 2, pp. 179-192.
- IEA (2014), *The Power of Transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems*, OECD, Paris.
- IEA (2011), *Harnessing Variable Renewables: A Guide to the Balancing Challenge*, OECD, Paris.
- IEA/NEA (2015), *Projected Costs of Generating Electricity - 2015 Edition*, OECD, Paris.
- Joskow, P. (2011), "Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies", *American Economic Review Papers and Proceedings*, Vol. 100(3), pp. 238-241.
- KEMA (2014), *Integration of Renewable Energy in Europe*, KEMA Consulting, Imperial College and NERA Economic Consulting for the EC, June.
- Lew, D. et al. (2013), *The Western Wind and Solar Integration Study Phase 2*, Technical Report NREL/TP-5500-55588, September.
- NEA (forthcoming), *System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*, OECD, Paris.
- NEA (2012), *Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-Carbon Electricity Systems*, Figure 4.1D, p. 156 and Table 4.8, p. 136, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2012/7056-system-effects.pdf.
- NREL (2015), *Grid Integration and the Carrying Capacity of the US Grid to Incorporate Variable Renewable Energy*, by Cochran, J., P. Denholm, B. Speer and M. Miller, NREL, Technical Report NREL/TP-6A20-62607, April 2015.
- PV Parity (2013), "Grid Integration Cost of Photo Voltaic Power Generation", by Pudjianto, D., P. Djapic, J. Dragovic and G. Strbac, PV Parity Project, Imperial College London, September, www.pvparity.eu/results/cost-and-benefits-of-pv-grid-integration.
- Ueckerdt, F., L. Hirth, G. Luderer and O. Edenhofer (2013), "System LCOE: What are the costs of variable renewables?", *Energy*, Vol. 63, pp. 61-75.



Глава 4. Воздействия на изменение климата

4.1. Введение

Сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) с целью предотвращения или минимизации воздействий антропогенных факторов на изменение климата имеет первостепенное значение для политиков во многих странах на протяжении последних двадцати лет. Парижское соглашение, заключенное на двадцать первой сессии Конференции Сторон (СОР 21) в декабре 2015 года, провозглашает, что «изменение климата представляет требующую срочных действий и потенциально необратимую угрозу для человеческого общества и планеты» (РКИК ООН, 2015: с. 1). Утверждая заявление политиков, Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), орган Организации Объединенных Наций, координирующий научные исследования в области изменения климата, в своем 5-м Отчете об оценке констатирует следующее:

Суммарные антропогенные выбросы ПГ продолжали увеличиваться в период 1970 – 2010 гг., при этом более значительное абсолютное увеличение наблюдалось в период с 2000 по 2010 гг. ... Антропогенные выбросы ПГ в 2010 г. достигли $49 \pm 4,5$ гигатонн эквивалента диоксида углерода в год (ГтСО₂экв/г). Выбросы СО₂ в результате сжигания ископаемого топлива и промышленных процессов внесли вклад порядка 78 % от общего увеличения выбросов ПГ с 1970 по 2010 гг., при этом процент этого вклада являлся аналогичным периоду 2000 – 2010 гг. (МГЭИК, 2014: с. 5)

В отчёте продолжается перечисление некоторых основных воздействий этих выбросов за последние 50 лет. Согласно МГЭИК, «... после выхода Четвёртого отчёта по оценке МГЭИК (AR4) возросло количество фактов влияния человека на климатическую систему...» Считается, что «антропогенные воздействия, по всей вероятности, влияют на глобальный круговорот воды в природе с 1960 года, а также способствуют сокращению ледяного покрова с 1960-х годов и ускорению таяния Гренландского ледяного щита с 1993 года». Климатологи МГЭИК также сообщили, что «очень вероятно, что антропогенные воздействия способствуют исчезновению арктического морского льда с 1979 года и, весьма вероятно, вносят существенный вклад в повышение глобального теплосодержания верхних слоев океана (0-700 м) и в глобальное повышение среднего уровня моря, наблюдаемое с 1970-х годов». (там же: с. 5)

Совпадающие результаты исследований показывают, что будущие воздействия на изменение климата, особенно после 2050 года, будут в первую очередь зависеть от траекторий динамики выбросов и концентрации СО₂ в атмосфере и, следовательно, от конкретного выбранного сценария. Однако, независимо от выбранного сценария, МГЭИК заявляет о своей «практической уверенности» в том, что экстремальные температуры будут более частым явлением, и что средняя глобальная температура поверхности будет расти. Осадки, вероятно, будут падать гораздо более неравномерно, увеличиваясь, например, в полярных регионах и уменьшаясь в зонах, которые сегодня являются умеренными регионами Земли, подвергая их риску опустынивания.

Глобальное распределение предполагаемых изменений температуры и осадков в двух климатических сценариях МГЭИК впечатляющим образом представлено на рис. 4.1. Как и во всех климатических исследованиях, с такими сценариями неизбежно связано большое количество факторов неопределённости. Краткое изложение опубликованных исследований предполагает, что:

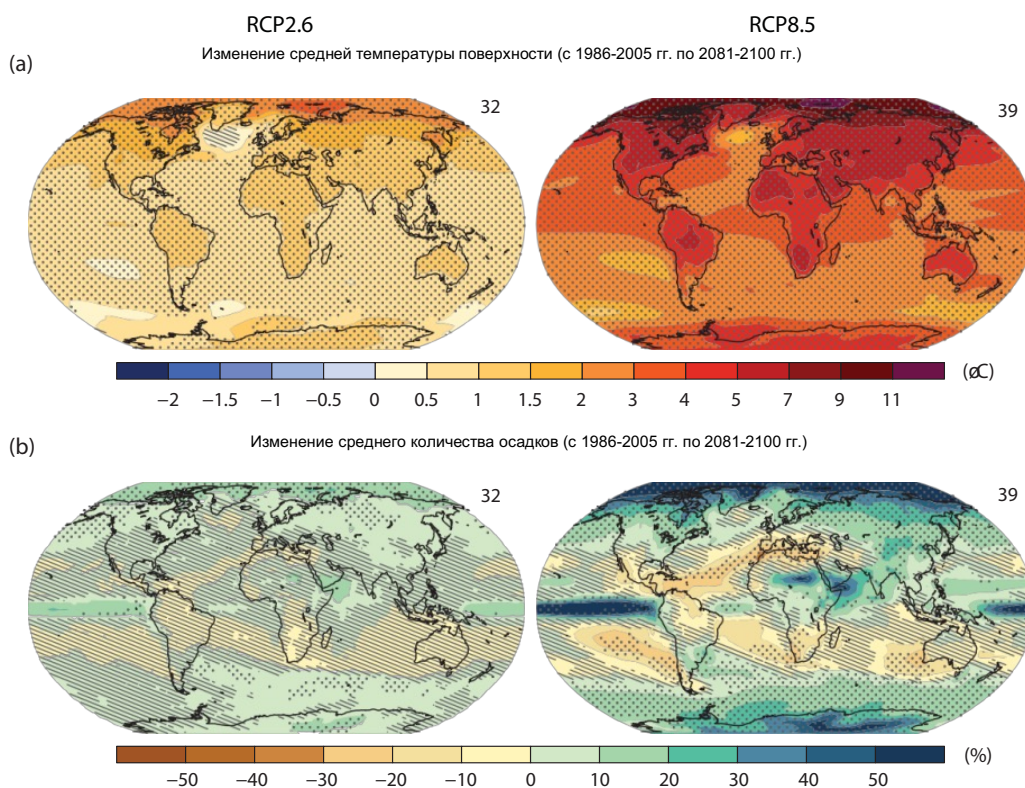
- Уровень антропогенных выбросов парниковых газов увеличивался со времен промышленной революции. В последние два года произошла стабилизация годовых выбросов, хотя и

на уровне, все ещё слишком высоком для снижения атмосферной концентрации парниковых газов, которые в конечном итоге ответственны за парниковый эффект и повышение температуры.

- Согласно данным, собранным МГЭИК, изменение климата уже происходит и может быть измерено с точки зрения роста средней глобальной температуры, увеличения числа тропических штормов и изменений в режиме осадков. В то время как текущие изменения в целом всё ещё могут быть сглажены путём адаптации существующих социально-экономических систем, климатологи предупреждают о риске того, что дальнейшее повышение температуры может привести к переломным моментам, при которых такая возможность перестанет существовать.

Рисунок 4.1: **Температура и осадки в двух сценариях МГЭИК**

(RCP2.6 соответствует нулевому сальдо годовых глобальных выбросов ПГ к 2100 г., в то время как RCP8.5 соответствует уровню годовых глобальных выбросов ПГ около 100 ГтCO₂ экв. к 2100 г. Текущие выбросы составляют около 50 ГтCO₂ экв.)



Изменение средней температуры поверхности (а) и среднего количества осадков (б) на основе многомодельных средних проекций на 2081-2100 гг. по сравнению с 1986-2005 гг. в сценариях RCP2.6 (слева) и RCP8.5 (справа). Количество моделей, использованных для расчёта многомодельного среднего значения, указано в верхнем правом углу каждой панели. Пунктиром обозначены регионы, где прогнозируемое изменение является большим по сравнению с естественной внутренней изменчивостью и где, по меньшей мере, 90 % моделей согласуются с признаками изменения. Заштрихованные зоны представляют регионы, где прогнозируемое изменение составляет менее одного стандартного отклонения естественной внутренней изменчивости.

Примечание. Эквиваленты CO₂ используются для преобразования парниковых газов с различной степенью «потенциала глобального потепления (ПГП)», их влияния с точки зрения изменения климата, в единый показатель. В течение 100-летнего периода времени МГЭИК устанавливает ПГП тонны CO₂ на уровне 1 и оценивает ПГП тонны метана (CH₄) в 25, а ПГП тонны закиси азота (N₂O) в 298. ПГП для промышленных газов, таких как ХФУ и ГХФУ, могут исчисляться тысячами (МГЭИК, 2007b: табл. 2.14). Несмотря на их относительно низкий ПГП, выбросы CO₂ из-за своей абсолютной величины по-прежнему составляют около 70 % ПГП от общих годовых выбросов парниковых газов.

Источник: МГЭИК, 2014.

4.2. Методологические вопросы, количественные оценки и состояние исследовательской деятельности

Подавляющее большинство климатологов ожидает, что воздействие антропогенных выбросов ПГ на климат будет огромным. Однако, это не выливается автоматически в возможность дать денежное выражение воздействию сжигания ископаемого топлива в пересчете на МВт·ч. Фактически, используемые базовые предположения и подходы будут в значительной степени определять результаты. Кроме того, речь идёт о широко политизированной области научных изысканий, где многими учреждениями были предприняты хорошо финансируемые, высококачественные исследовательские работы, но которые не привели к широко согласованным действиям по выработке традиционного набора допущений и методологий. Следовательно, при оценке полных издержек, связанных с выбросами ПГ, невозможно отделить методологические вопросы от результатов.

Связь между отдельной тонной CO₂ и его влиянием на климат неочевидна. Тонна углерода, выбрасываемая в какой-либо точке планеты, будет оказывать влияние на климат, увеличивая концентрацию ПГ в атмосфере, что, в свою очередь, будет воздействовать на среднюю глобальную температуру и, в сочетании с множеством других факторов, станет причиной локальных последствий, таких как наводнения или засухи. Последствия будут очень разными в разных регионах планеты. Если регионы, не имеющие выхода к морю, расположенные в более холодных зонах, такие как Сибирь или Канада, выиграют от более теплого климата, существование стран, расположенных в изменностях с протяженными береговыми линиями или мелкими островами будет поставлено под угрозу из-за более частых штормов и повышения уровня моря в результате таяния ледяных полярных шапок и теплового расширения океанов. Опустынивание, эпидемии тропических болезней, а также массовая миграция (как людей, так и животных) являются дополнительными последствиями, к которым приведёт ускорение изменений климата. Все они, тем не менее, являются частью социальных издержек на выбросы ПГ, которые выделяются при использовании ископаемого топлива, как при применении транспортных средств, так и в процессе генерации электроэнергии (более подробную информацию см. в отчёте ОЭСР за 2015 год «Денежная стоимость углерода в политической оценке»).

Совершенно очевидно, что оценка этих воздействий, многие из которых проявятся только с существенными задержками, является сложным предприятием, связанным с огромной долей неопределённости. В то же время, начавшееся изменение климата в значительной степени необратимо. Слишком долгое затягивание с принятием мер по смягчению потенциальных последствий может уменьшить число возможных корректирующих действий в политике и поведении. Однако при проведении любой политики необходимо учитывать, по крайней мере, грубые контуры матрицы результатов, полученных посредством моделирования взаимодействия ответных политических мер и возможных реакций климатической системы. В этом контексте ОЭСР выделяет три ключевых вопроса: 1) разные аспекты неопределённости, 2) дисконтирование будущих воздействий и 3) справедливость по отношению к различным заинтересованным сторонам (ОЭСР, 2015: с. 12-16). Первостепенные моменты в этих вопросах, дополненные некоторыми сопутствующими соображениями, выражаются следующим образом:

1. Аспекты неопределённости достаточно простым образом подразделяются на вопросы, связанные с неопределённостью относительно будущих выбросов ПГ; неопределённостью в отношении воздействия таких выбросов на концентрацию ПГ в атмосфере и соответствующих последствий для климата; неопределённостью в отношении воздействия климатической системы на физическую и биологическую среду; и неопределённостью в отношении социальных и экономических оценок этих воздействий.
2. Дисконтирование будущих воздействий — это «суд» между настоящим и будущим. Концептуально оно может быть получено на основе предпочтения текущего потребления над будущим из-за неопределённости и ограниченной продолжительности жизни. ОЭСР (2015) упоминает альтернативную стоимость капитала в качестве второго варианта, однако оба варианта уравниваются, если не существует ограничений ни для сбережений, ни для инвестиций. Выбор ставки дисконтирования имеет решающее значение при рассмотрении последствий в далёком будущем. В то время как многие, но не все, действия по сокращению выбросов могут быть дорогостоящими на сегодняшний день, выгоды от них будут извлечены лишь через несколько десятков лет. Если ставка дисконтирования равна нулю, выгода в 1 миллиард долларов США в 2050 году будет оправдывать эквивалентные инвестиции в 1 миллиард долларов США в сокращение выбросов сегодня. Однако, если ставка дисконтирования составляет 5 % в год, оправданным на сегодняшний день будет только вложение в размере 200 миллионов долларов США. Соответствующее значение упадёт до 43 миллионов долларов США при общепризнанно очень высокой ставке дисконтирования в 10 %. Если выгоды извлекаются только в 2100 году, даже при ставке дисконтирования в 5 %, оправданными могут быть инвестиции, не превышающие 17 миллионов долларов США. Установление правильной ставки дисконтирования является чрезвычайно сложным и представляет собой предмет многочисленных споров. Эта проблема имеет три основных измерения:

- a. *Межпоколенческая справедливость* относится к компромиссу в благополучии между нынешними и будущими поколениями. Если благополучие будущих поколений считается важным, то ставка дисконтирования должна быть низкой, и наоборот.
 - b. *Частные и социальные ставки дисконтирования* указывают на то, что, в целом, общество с большей продолжительностью жизни и способностью диверсифицировать и распределять риски располагает более низкими ставками дисконтирования, чем частные лица. Тем не менее, рынки, которые должны стать движущей силой эффективных действий, связанных с изменениями климата, используют частные ставки дисконтирования. Должны ли правительства вмешиваться в этом случае, чтобы снизить затраты, т. е. субсидировать инвестиции в сокращение выбросов, таких как безуглеродная генерация электроэнергии?
 - c. *Нынешняя конъюнктура с низкими процентными ставками* серьёзно расшатывает многие предположения о формировании процентных ставок и ставок дисконтирования. Является ли она преходящим явлением из-за временного спада совокупного спроса или признаком глубокого структурного изменения, которое потребовало бы перерасчёта затрат на долгосрочные инвестиции? Этот аргумент имеет решающее значение для относительной стоимости инвестиций в такие отрасли как атомная энергетика, гидроэнергетика или энергетика на основе возобновляемых источников энергии, имеющих высокий уровень капиталовложений и низкий уровень выбросов двуокиси углерода.
3. Справедливость касается не только межпоколенческой справедливости, но и вопросов распределения между теми, кто совершает выбросы, с одной стороны, и теми, кто испытывает или может испытывать на себе последствия изменения климата, с другой стороны. Линии раздела здесь проходят не только между разными странами, но и внутри одной и той же страны. Данная проблема является не только этической. Экономика окружающей среды показала, что распределение экологических издержек и выгод влияет на предельные показатели, т. е. на полные издержки по производству электроэнергии как таковые.¹ Однако, учитывая, что оценка стоимости изменения климата представляет собой огромную проблему по ряду причин, дополнительные эффекты распределения можно считать второстепенными.

Несмотря на данные трудности, исследователи регулярно берут на себя задачу оценки порядка полной стоимости изменения климата, которую часто называют социальными издержками, связанными в углеродосодержащими выбросами (СИУВ). Некоторые из последние исследований могут быть далеко несовершенными примерами выполнения данной непомерно трудной задачи. По оценке масштабного исследования «Приближение к пределу 1,5°C. Выгоды и возможности» (*Pursuing the 1.5°C Limit: Benefits & Opportunities*), проведённого Программой развития Организации Объединённых Наций (ПРООН) в 2016 году, изменение климата приведёт к глобальному сокращению годового валового внутреннего продукта (ВВП) на приблизительно 33 триллиона долларов США. Если предположить, что годовой мировой ВВП в 2050 году составит 130 триллионов долларов США, это будет означать крайне существенное сокращение мирового ВВП на 25 % (ПРООН, 2016 г., с. 18). С учётом того, что глобальный уровень выбросов CO₂ в настоящее время составляет около 50 миллиардов тонн в пересчёте на CO₂, это означает, что затраты на тонну углерода составляют около 600 долларов США.

В то время как в отчёте ПРООН в рамках экспериментального расчёта сделана серьёзная, но, возможно, не самая удачная в дидактическом плане, попытка оценки климатических издержек, поскольку полученный результат предполагает, что климатические затраты в размере 21 триллиона долларов США возникнут даже при решительных изменениях политики. Такие изменения, в сущности, достигающие амбициозных целей Парижского соглашения о недопущении значительного превышения глобальной температуры свыше 1,5°C, позволят получить выгоду в размере лишь 12 триллионов долларов США, что составляет примерно 10 % мирового ВВП.

В научной статье Дица и др. (*Dietz et al.*), также опубликованной в 2016 году в журнале *Nature Climate Change*, приводится несколько более консервативная оценка того, что к 2100 году изменение климата снизит мировые финансовые активы на 2,5 триллиона долларов США или на 1,8 %, учитывая их текущий уровень. Это значение распределения вероятности является показательным. Риск экстремального изменения может достигать 24 триллионов долларов США или 17 % мировых активов (Дитц и др., 2016,

1. Аргумент основан на том факте, что разные заинтересованные стороны имеют разную эластичность доходов в отношении их спроса на экологически чистые товары. Представьте себе группу А, состоящую из шахтёров с высокой устойчивостью к изменению климата, и группу В, состоящую из рыбаков в небольшой островной стране, очень чувствительной к изменению климата. Сохранение прав на использование окружающей среды, т.е. права на выбросы CO₂, за членами группы А увеличит их относительный доход и их готовность платить, и, следовательно, результаты экономической оценки последствий изменения климата, по всей вероятности, будут довольно скромными. Наоборот, предоставление прав на использование окружающей среды, т. е. права требовать прекращения выбросов CO₂, членам группы В увеличит их доход и готовность платить, и, следовательно, результат оценки стоимости последствий изменения климата, по всей вероятности, будет более значимым.

с. 676). Однако, часть ущерба уже нанесена. Сдерживание увеличения средней глобальной температуры в пределах 2°C уменьшит ущерб примерно на треть, но не более.

В некотором смысле, данные результаты удивительны, поскольку можно было бы ожидать экспоненциального роста ущерба от изменений климата в связи со значительным повышением температуры. В частности, действия взаимоусиливающих элементов механизма обратной связи в климатической системе, например, высвобождение метана, находящегося в ловушке вечной мерзлоты, из-за потепления климата, могут повлечь за собой нарушение целостности системы, что по меньшей мере приведёт к риску катастрофических изменений, например, к глобальному нарушению круговорота кислорода в природе, а не к результатам, предусмотренным линейной функцией ущерба, которая использована в данных показательных исследованиях.

Многоуважаемый экономист Йельского университета Вильям Нордхаус (*William Nordhaus*) недавно представил обновлённые оценки из своей части динамической интегрированной модели климата и экономики (DICE) в так-называемой группе моделей интегрированной оценки (IAM). Так, его последнее исследование основывается на социальных издержках на выбросы двуокиси углерода, находящихся на уровне 31 доллара США за тонну CO₂ (тCO₂), и рассчитанная траектория роста выбросов ведёт к повышению глобальной температуры на 4°C к 2100 году. Сами издержки возрастут до 103 долларов США за тонну CO₂ до 2050 года. Такие издержки в значительной степени обусловлены предполагаемой ставкой дисконтирования в 4,25 %. Она может считаться высокой, в частности, потому что Нордхаус не делает различий между частными рыночными ставками и социальными ставками дисконтирования. Такое различие, однако, абсолютно необходимо, как показано в вычислениях в табл. 4.1, предоставленных самим Нордхаусом.

Таблица 4.1: **Социальные издержки на выбросы двуокиси углерода в зависимости от ставки дисконтирования**

(в долларах США по курсу 2010 г. за тонну CO₂)

	2015	2050
2,5 %	129	236
3,0 %	79	157
4,0 %	36	82
5,0 %	20	49

Источник: Нордхаус, 2017.

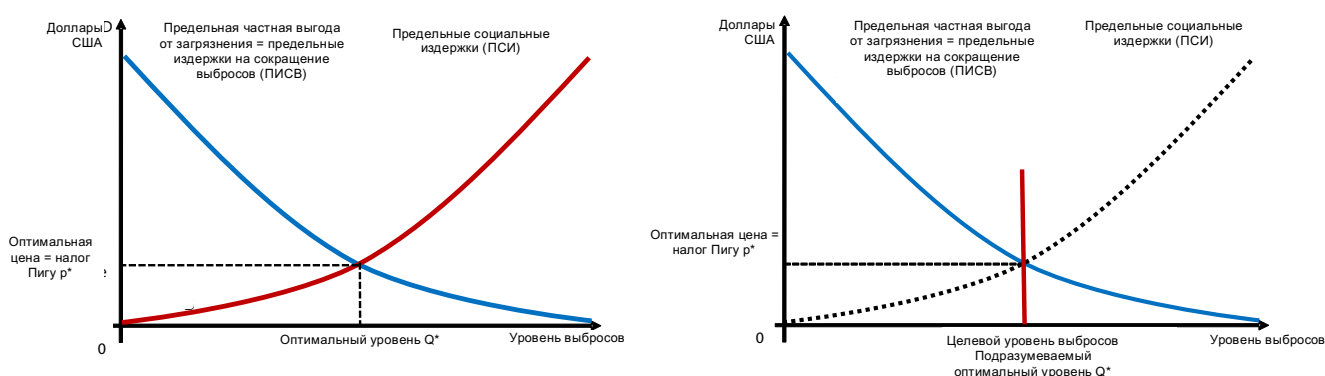
Модели интегрированной оценки дают нисходящие сценарии, основанные на ряде динамических уравнений, которые подлежат постоянной перекалибровке на основе прошлых отношений между различными параметрами, например, между экономическим ростом и уровнем выбросов. Несмотря на свою техническую многосложность, данные уравнения также подвергаются шквалу критики. Самади (*Samadi*, 2017) сообщает в своем широком обзоре социальных издержек на электроэнергию, что ряд исследователей утверждает, что модели интегрированной оценки, как правило, дают оценку, находящуюся на нижнем уровне истинных социальных издержек на выбросы двуокиси углерода. Тремя ключевыми моментами являются исключение нерыночных товаров, таких как биоразнообразие; исключение неприятия риска; а также исключение потенциально разрушительных последствий «переломных моментов» в климатической системе. На основании исследований Ван ден Берга (*Van Den Bergh*) и Боцена (*Botzen*) (2014) и анализа чувствительности, выполненного Коппом и др. (*Kopp et al.*, 2012), он затем устанавливает медианное значение в 114 евро за тонну CO₂, при этом нижний предел составляет 11 евро, а верхний – 626 евро (Самади, 2017: с. 14-15). Гарвардский экономист Роберт Пиндайк (*Robert Pindyck*) идет гораздо дальше в своей критике:

Эти модели имеют важные недостатки, которые делают их практически бесполезными в качестве инструментов для анализа политики: некоторые исходные данные (например, ставка дисконтирования) являются произвольными, но они оказывают огромное влияние на оценки СИУВ [социальных издержек, связанных с углеродосодержащими выбросами], которые производят модели; описания моделей воздействия на изменение климата являются абсолютно специфическими, без теоретического или эмпирического обоснования... Анализы климатической политики, основанные на моделях интегрированной оценки, создают ощущение знаний и точности, но это ощущение иллюзорно и вводит в заблуждение. (Пиндайк, 2013 г.: с. 860)

Критика впоследствии обосновывается подробными аргументами. Тем не менее, Пиндайк также считает модели интегрированной оценки методологическим стандартом, которым они никогда не должны были стать. Модели интегрированной оценки никогда не предназначались для точных научных оценок будущих затрат, а скорее для определения порядка величины неопределённых социальных представлений о затратах при различных допущениях.

Тем не менее, глобальный процесс разработки политики в значительной степени отказался от чёткой оценки полных издержек, связанных с изменением климата, что является правильным. Уровень неопределённости таков, что определённые цифры не могут использоваться в качестве соответствующих ключевых моментов для выработки политики (см. также работу Вайцмана (*Weitzman*), 2011, по этому вопросу). Это не означает отказ от денежного выражения затрат на выбросы парниковых газов и CO_2 , меняется только логика. Таким образом, оценка ущерба от изменения климата происходит согласно логике, которая точно противоположна традиционному методу учёта полных затрат. Как объясняется в главе 1, традиционный метод учёта полных затрат имеет цель установить функцию предельного социального ущерба и сопоставить её с функцией предельных частных издержек на сокращение выбросов. Точка их пересечения будет определять оптимальное количество выбросов. Вместо того, чтобы уравнивать предельные социальные издержки с предельными частными издержками на сокращение выбросов, устанавливаются величины выбросов, которая считается социально оптимальной или приемлемой, и выводятся из неё соответствующие предельные издержки на сокращение выбросов. Последние, таким образом, будут косвенно соответствовать предельным социальным издержкам. На рис. 4.2 представлены оба подхода одновременно. Без всякого сомнения, прямое определение является методологически предпочтительным. Тем не менее, с точки зрения разработки политики, количественные целевые показатели, используемые при косвенном определении социальных издержек, позволяют значительно упростить их интеграцию в процессы принятия социальных решений и, в конечном итоге, принять более эффективное в долгосрочной перспективе решение.

Рисунок 4.2: Прямое и косвенное определение полных издержек на выбросы CO_2



Такие количественные целевые показатели можно определить исходя из годового объёма выбросов парниковых газов, степени их концентрации в атмосфере или исходя из повышения глобальной температуры, к которому может привести такая концентрация. В итоге, именно последний показатель наилучшим образом дал представление политикам и общественности о всех возможных последствиях изменения климата и степени их вероятности, т.е. представление об увеличении средней глобальной температуры по сравнению со средней глобальной температурой, преобладавшей до промышленной революции. На основании исследований МГЭИК, упомянутых выше, существует широкий консенсус о том, что повышение температуры более чем на 2°C приведёт к недопустимому количеству пагубных последствий и бедствий. Все понимают, что средняя глобальная температура является очень несовершенным показателем, но она привлекательна своей простотой и способностью быть ориентиром для достижения политически и экономически значимых целей с точки зрения сокращения выбросов парниковых газов.

Именно благодаря длительному процессу разработки глобальной климатической политики, приближение к широко согласованной глобальной цели стало возможным. Таким образом, принятие разумной, легко понятной и актуальной политической цели, такой как сдерживание повышения средней глобальной температуры в пределах 2°C , стало важным шагом вперёд.

Специалисты по моделированию климата предполагают, что для того, чтобы иметь хотя бы 50-процентный шанс сдержать повышение средней глобальной температуры до целевого значения 2°C, концентрация парниковых газов в атмосфере не должна превышать 450 ppm выбросов в эквиваленте CO₂ (см. табл. 4.2). Таким образом, целевой уровень концентрации может быть преобразован в объём ежегодных глобальных выбросов парниковых газов, а также выбросов CO₂ как в энергетическом секторе в целом, так и в электроэнергетическом секторе. В «Прогнозе мировой энергетики 2016», сделанном Международным энергетическим агентством (МЭА), приводятся расчёты, в соответствии с которыми в энергетическом секторе выбросы от сжигания ископаемого топлива должны будут снизиться с 32,2 Гт CO₂ в 2014 году до 18,4 Гт в 2040 году, в то время как выбросы в секторе электроэнергетики должны будут сократиться даже более значительным образом с 13,5 Гт до 3,6 Гт за тот же период.

Таблица 4.2: Концентрация парниковых газов и ожидаемое повышение температуры

Концентрация в выбросах в эквиваленте CO ₂ (ppm)	Повышение средней глобальной температуры (° C)
445 - 490	2,0 - 2,4
490-535	2,4 - 2,8
535 - 590	2,8 - 3,2
590 - 710	3,2 - 4,0
710 - 855	4,0 - 4,9
855 - 1 130	4,9 - 6,1

Источник: МГЭИК, 2007b

Койк, Брандер и Толь (*Kuik, Brander and Tol, 2009*) предприняли очень подробный анализ кривых предельных издержек на сокращение выбросов, установленных для большого числа различных климатических и энергетических моделей. Результаты приведены в табл. 4.3. Все, кроме одной из проанализированных моделей (25 из 26), дают оценку уровня концентрации парниковых газов в атмосфере в 2050 году в диапазоне 525 – 650 ppm, что, естественно, значительно выше уровня 450 ppm или ещё более низкого уровня, предусмотренного Парижским соглашением. Это может рассматриваться как показатель того, в какой степени политические дебаты больше не имеют какой-либо связи с усилиями по моделированию, пытающимися оценить реалистичные сценарии среднего диапазона.

Таблица 4.3: Сводные статистические данные предельных издержек на сокращение выбросов 26 моделей

(Значения приведены к курсу евро на 2005 г.)

Статистические данные	ПИСВ 2025 г. (в евро за тонну выбросов в эквиваленте CO ₂)	ПИСВ 2050 г. (в евро за тонну выбросов в эквиваленте CO ₂)
Среднее арифметическое	25	56
Медианное значение	16	32
Максимум	120	209
Минимум	0	1,4
Стандартное отклонение	28	53

Источник: по материалам Койка и др., (2009)

На основе собранной литературы авторы выполнили мета-анализ, по существу, включив полученные значения в нелинейный регрессионный анализ, чтобы вывести предельные издержки на сокращение выбросов (ПИСВ) на 2025 и 2050 годы также для целевых показателей концентрации 450 ppm и 500 ppm (см. табл. 4.4). Следует также отметить, что рассмотренные модели рассчитывают затраты на сокращение выбросов для энергетического сектора, а не для электроэнергетического сектора.

Таблица 4.4: **Предельные издержки на сокращение выбросов для сценариев с 500 ppm и 450 ppm**(в евро по курсу 2005 г./ тCO₂)

	2025 г.		2050 г.	
	Диапазон	Среднее арифметическое	Диапазон	Среднее арифметическое
500 ppm	37-119	60	79-226	130
450 ppm (2DS)	69-241	129	128-396	225

Таким образом, предельные издержки по выполнению 2DS с 450 ppm в 2050 г. составят 225 евро за тонну выбросов в эквиваленте CO₂. В принципе, это значение должно соответствовать необходимому уровню налога на выбросы двуокиси углерода.

Источник: по материалам Койка и др., (2009).

Однако, к последнему результату следует относиться с большой осторожностью и пониманием пределов энергетического моделирования. Значение, составляющее 35 долларов США за тонну CO₂, является результатом специфических допущений в моделировании, касающихся относительных издержек различных технологий. Если предположения о стоимости угля и газа, с одной стороны, и ядерной энергии, с другой стороны, находятся в сравнительном диапазоне, даже относительно скромный налог на выбросы двуокиси углерода может быть достаточным для принятия решений в непротиворечивом мире моделей. В реальном мире необходимо преодолеть важные проблемы доверия и политической неопределённости, чтобы подтолкнуть лица, принимающие решения, к типу поведения, подразумеваемого моделями.

Ещё одна проблема, которую следует рассмотреть – это финансовый риск, который на нерегулируемых рынках отличается от технологии к технологии. В условиях рынка цены на углеродные квоты также должны быть значительно выше, чем те, которые подразумеваются средней стоимостью, определяемой расчётами полной приведённой стоимости электроэнергии (LCOE). Это объясняется тем, что на дерегулированных рынках с изменчивостью цен низкоуглеродные технологии с высокими постоянными издержками всегда имеют более высокие капитальные затраты, чем технологии на основе ископаемого топлива с более низкими постоянными издержками из-за долгосрочного ценового риска. Налоги на выбросы углерода должны быть достаточно высокими, чтобы преодолеть этот конкурентный недостаток производителей, применяющих низкоуглеродные технологии, по отношению к производителям, использующим ископаемое топливо.

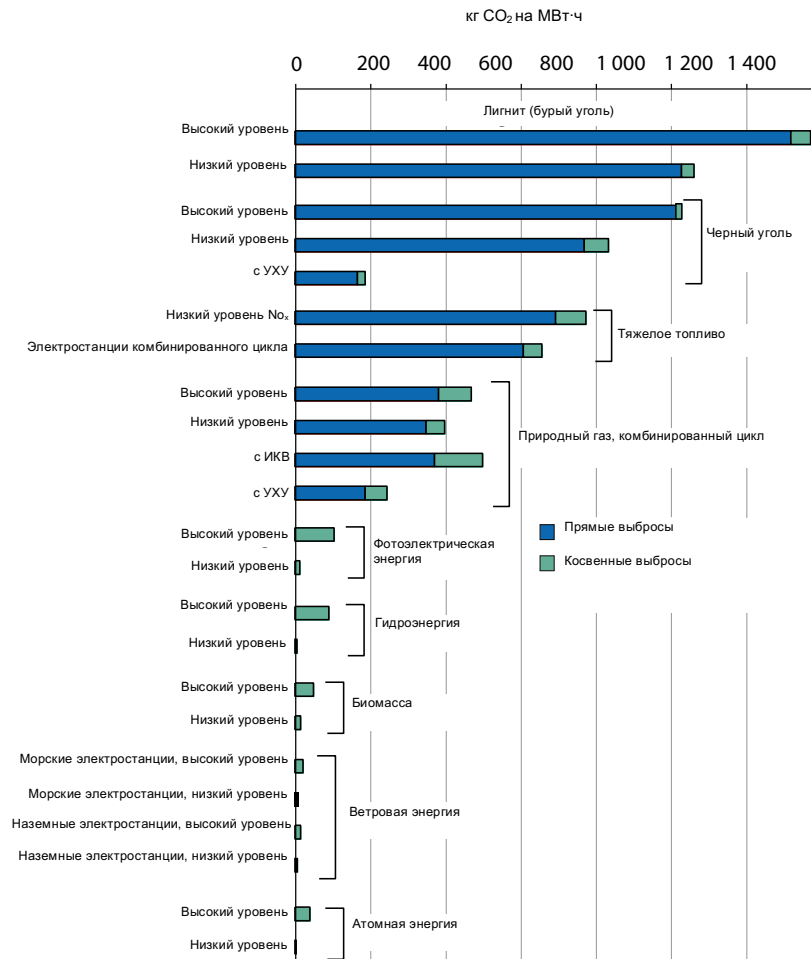
Необходимо сделать дополнительное различие между электроэнергетическим сектором, моделирование которого производится усилиями АЯЭ, и экономикой в целом. Разумеется, электроэнергетический сектор должен нести важную долю усилий по достижению цели ограничения повышения температуры до 2°C. Согласно «Прогнозу мировой энергетики» МЭА, для приведения энергетического сектора в соответствие с требованиями 2DS, вклад электроэнергетики должен находиться на уровне 71 % глобальных усилий и на уровне 55 % усилий стран ОЭСР. Цифры, приведённые Койком и др. (2009), относятся к предельным значениям для энергетического сектора в целом. Последние являются более высокими, чем значения, получаемые при моделировании электроэнергетического сектора, так как издержки на сокращение выбросов за пределами электроэнергетического сектора имеют значительно больший уровень. Вопрос, однако, заключается в том, могут ли они быть более чем в четыре раза выше, поскольку электрификация остаётся вариантом в большинстве случаев, где используется сжигание ископаемого топлива. В будущем для преодоления разрыва в этом направлении потребуются работа по моделированию и эмпирические исследования. Как дискуссии о социальных издержках на выбросы двуокиси углерода, так и дискуссии о предельных издержках на сокращение выбросов в соответствии с политически выбранным количественным показателем далеки от завершения.

4.3. Перспективы интернализации

Несмотря на то, что влияние полных издержек на выбросы CO₂ в результате сжигания топлива на концентрацию в атмосфере, климат и благополучие человека трудно оценить, их интернализация на самом деле довольно проста. Выбросы CO₂ в результате сжигания топлива при производстве электроэнергии зависят от содержания углерода в базовом топливе, в основном в газе и угле, а также от тепловой эффективности электростанции при преобразовании химической энергии в электрическую. Эти два показателя могут быть точно измерены и преобразованы в единицы измерения, тонны CO₂ на МВт·ч электроэнергии. На рис. 4.3 представлен обзор интенсивности выбросов широкого спектра технологий производства электроэнергии, измеряемой в кг на МВт·ч, от нулевого уровня прямых выбросов для

атомной энергетики и энергетики на основе возобновляемых источников энергии, до примерно 1 тонны на МВт·ч для электроэнергетики, вырабатываемой угольными электростанциями.

Рисунок 4.3: **Прямые и косвенные выбросы CO₂ различных технологий производства электроэнергии**



УХУ: улавливание и хранение углерода; КЦСПГ: комбинированный цикл с сжиганием природного газа; ИКВ: избирательное каталитическое восстановление.

Источник: МГЭИК, 2007b

На этой стадии, согласно экономической теории, решение, минимизирующее издержки, направленное на достижение определённого уровня сокращения выбросов, состоит в том, чтобы рассчитать соответствующую цену на углеродные квоты за каждую тонну CO₂. В соответствии с пигувианской парадигмой, представленной в главе 1, самая простая форма управления такой ценой на углеродные квоты заключается в установлении налога на выбросы двуокиси углерода, налагаемого на производителей выбросов. Налог на выбросы двуокиси углерода, в свою очередь, делает углеродоёмкие технологии более дорогостоящими, приведёт к сокращению доли электроэнергии на основе ископаемого топлива в структуре вырабатываемой электроэнергии и, в конечном итоге, к снижению самих углеродосодержащих выбросов.

В табл. 4.5 показано, как в результате внедрения углеродных квот может произойти увеличение затрат на МВт·ч газовых и угольных электростанций, в то время как затраты низкоуглеродных технологий, таких как атомная энергетика, гидроэнергетика и энергетика на основе возобновляемых источников энергии, могут остаться на прежнем уровне.

Таблица 4.5: **Увеличение переменных издержек угольных и газовых электростанций в соответствии с различными уровнями цен на единицу сокращения выбросов**

(в долларах США за МВт·ч, для углеродоёмкости указано медианное значение для стран ОЭСР)

	Углеродоёмкость (тCO ₂ /МВт·ч)	Уровень цен на углеродные квоты (в долларах США за тCO ₂)			
		10	30	50	100
Газ	0,34	3	10	17	34
Уголь	0,74	7	22	37	74

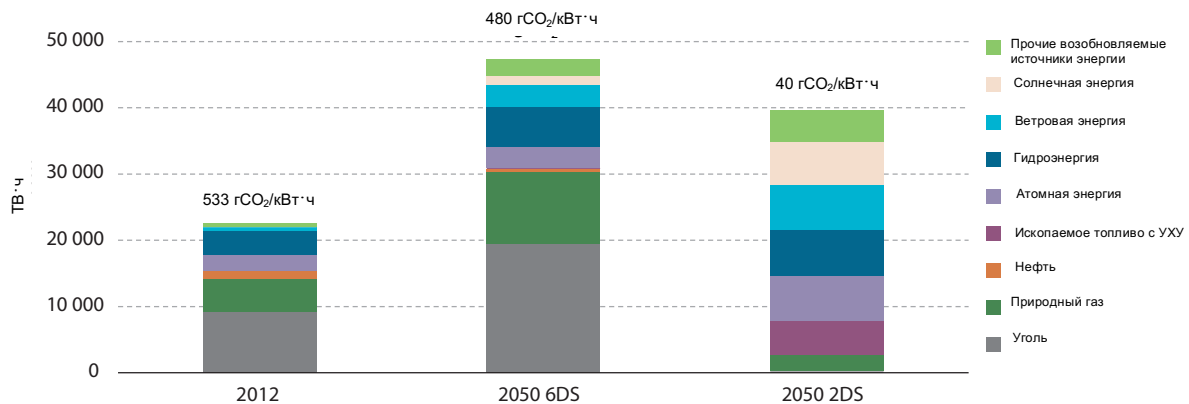
Источник: по материалам МЭА/АЯЭ, 2015а.

Данные дополнительные издержки, связанные с ценообразованием на углеродные квоты, необходимо рассматривать с учётом того, что согласно МЭА/АЯЭ (2015а) медианное значение LCOE атомных электростанций составляет 83 доллара США за МВт·ч, в сравнении с 93 долларами США за МВт·ч для газовых электростанций и 68 долларами США за МВт·ч для угольных электростанций (все цифры указаны для коэффициента мощности 85 % и стоимости капитала 7 %). Справедливости ради следует добавить, что издержки на производство электроэнергии газовых электростанций в значительной степени зависят от местоположения электростанции, и что соответствующий показатель LCOE может находиться на таком низком уровне, как 60 долларов США за МВт·ч в США.

Непосредственное воздействие выбросов CO₂, связанных с выработкой электроэнергии в пределах ОЭСР, которые в 2015 году составили чуть менее 12 миллиардов тонн, и огромные размеры оперируемых сумм делают налоги на выбросы углерода весьма спорным вопросом. Так, против выступают производители ископаемого топлива и энергоёмкие предприятия, равно как и организации по защите прав потребителей, обеспокоенные ростом цен на электроэнергию. Другие обеспокоены масштабами проблемы преобразования структуры глобального энергоснабжения. Действительно, проблема огромна по своим масштабам. На рис. 4.4 показано, каким образом структура генерирующих мощностей должна была бы сократить выбросы двуокиси углерода с 0,5 гCO₂ на кВт·ч на сегодняшний день до 0,04 гCO₂ на кВт·ч к 2050 году, чтобы сдержать повышение средней глобальной температуры в пределах, не превышающих 2 °С, что соответствует сокращению интенсивности выбросов двуокиси углерода более чем на 90 %. Изменения, требующиеся в других секторах экономики, кроме электроэнергетического, могут быть сопряжены с ещё более значительными трудностями.

Согласно экономической теории, утверждается, что налоги на выбросы двуокиси углерода являются самым быстрым, наиболее экономически эффективным и, по крайней мере, на первый взгляд, также наиболее справедливым механизмом, способствующим внесению этих изменений. Справедливость обеспечивается тем, что налоги на выбросы двуокиси углерода соответствуют принципу «Платит загрязнитель». Почему тогда они справедливы только на первый взгляд? Потому что можно было бы утверждать, что производители ископаемого топлива и его потребители после промышленной революции создали своего рода историческое «право на использование», которое позволяло им выбрасывать CO₂ в атмосферу бесплатно. Изменение этого права могло бы означать, что они одни будут платить за выгоду общества от сокращения выбросов и стабильного климата. С другой стороны, налоги на выбросы углерода позволят на уровне общего бюджета снизить другие налоги и сборы, особенно корпоративные и подоходные налоги, создавая тем самым дополнительную экономическую деятельность и занятость.

Рисунок 4.4: Изменения, необходимые в глобальной системе электроснабжения для достижения 2DS



Источник: МЭА/АЭЭ, 2015b.

Совершенно очевидно, что на карту поставлены десятки миллиардов евро или долларов, поэтому ведётся острая полемика по поводу налогов на выбросы углерода. Один из постоянно поднимаемых вопросов касается надёжности налога на выбросы углерода. Капиталовложения в атомную энергетику связывают инвестора обязательствами на срок, как минимум, 30 или 40 лет (теоретически сроки ещё больше, но с финансовой точки зрения интерес к тому, что произойдет после 40-летнего периода является ограниченным) и на срок не менее 20 лет при вложениях в переменчивые возобновляемые источники энергии (ПВИЭ). Может ли инвестор с высокой степенью вероятности рассчитывать на сохранение достаточно высокого налога на выбросы углерода? Несмотря на то, что налог на выбросы углерода имеет ряд преимуществ, с точки зрения простоты его введения и применения, имеются и другие варианты.

В частности, углеродные квоты не обязательно должны существовать в форме налога на выбросы углерода. Рынки по торговле квотами на выбросы, такие как Европейская система торговли квотами на выбросы, являются очевидной альтернативой, в которой общий объём выбросов ограничен, и где разные стороны, а не только производители электроэнергии, могут покупать и продавать разрешения или квоты на выбросы. Если квоты продаются властями, как правило, посредством аукционных торгов, распределительные последствия будут таким же, как и при налогах на выбросы углерода. Единственное отличие состоит в том, что в случае налога достигается стабильность цен, при этом объёмы могут некоторым образом изменяться в зависимости от спроса на электроэнергию, а в случае рынка по торговле квотами на выбросы, объёмы будут фиксированными, но цены могут существенно изменяться. Ключевым условием достижения перемен, обеспечиваемых системой торговли квотами на выбросы, является, конечно, то, что сумма квот, выдаваемых властями, должна быть достаточно низкой.

Другими мерами для оценки сокращения выбросов являются надбавки к зелёному тарифу (НЗТ), налоговые льготы на производство (НЛП) или льготы за производство с нулевым уровнем выбросов (ЛПНУВ) для низкоуглеродной электроэнергии. Такая поддержка может рассматриваться как компенсация за обеспечение общественного блага сокращения выбросов ПГ. Подобно ситуации с налогом на углеродосодержащие выбросы, из-за такой поддержки прибыль производителей низкоуглеродной электроэнергии и производителей электроэнергии на базе ископаемого топлива будет сильно отличаться. Тем не менее, последствия и воздействия распределения на надёжность снабжения будут разными. Налог на выбросы углерода обеспечивает приток денежных средств от производителей электроэнергии в государственную казну. И наоборот, НЗТ, НЛП или ЛПНУВ являются источником дополнительных доходов для производителей. Именно этот аспект может иметь решающее значение. Одна из причин отказа от введения более высоких налогов или цен на выбросы углерода в Европе и США заключается в том, что они рискуют вытеснить с рынка некоторые из крупнейших энергетических компаний.

С точки зрения электроэнергетического сектора такие меры поддержки имеют много преимуществ. При этом их самый большой недостаток заключается в том, что ЛПНУВ можно было бы считать субсидиями для низкоуглеродного производства, особенно если они не распределяются через конкурентные аукционные торги. Однако любая целесообразная субсидия представляет собой вознаграждение за вклад в положительный внешний эффект или общественное благо. В этом смысле прозрачные удельные субсидии в отношении всех низкоуглеродных технологий, таких как атомная энергетика и гидроэнергетика, которые действуют как НЗТ и по-прежнему не ограничивают получателей

от воздействия рыночных тенденций, были бы гораздо более эффективны с экономической точки зрения и с точки зрения выбросов, чем нынешняя система выборочного нерыночного финансирования.

Третий вариант предусматривает предложение органами государственной власти производителям низкоуглеродной электроэнергии долгосрочных контрактов на поставку, снижающее, таким образом, их ценовой риск и обеспечивающее надёжность доходов. Аналогично вышесказанному, такие долгосрочные контракты должны будут распределяться через конкурентные аукционные торги. Конкуренция в таком случае будет иметь место за рынки, а не на рынке. Такая стабильность может быть обеспечена различными средствами, включая:

- зелёные тарифы (ЗТ);
- контракты на разницу цен (КРЦ);
- долгосрочные соглашения о поставках электроэнергии (СПЭ);
- собственная генерация или модель Манкала при соответствующих обстоятельствах;
- регулируемые тарифы.

Все эти различные меры имеют одинаковый желаемый эффект обеспечения стабильности и прогнозируемости цен для инвесторов в проектах с высокими постоянными издержками и длительным жизненным сроком. Европейские страны ОЭСР предпочли зелёные тарифы в качестве инструмента для продвижения возобновляемых источников энергии. Предоставление таких долгосрочных ценовых гарантий не означает автоматическое предоставление субсидии. Аукционные торги могут обеспечить конкуренцию в борьбе за долю рынка, а не конкуренцию на рынке. Кроме того, рынки краткосрочного капитала организуют распределение и корректировку на основе конкуренции.

Наконец, могут рассматриваться и неценовые инструменты, такие как государственные инвестиции в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы или обращения с просьбой потреблять менее углеродоемкие товары. Однако таких неценовых мер будет недостаточно для того, чтобы изменить коренным образом траекторию динамики выбросов. Если страны действительно заинтересованы в сокращении выбросов CO₂ для снижения рисков, связанных с изменением климата, обязательным условием является интернализация соответствующих предполагаемых издержек на адекватном уровне рыночных цен. Это утверждение не означает, что распределение издержек не подлежит обсуждению. Уровень относительных издержек может быть изменен с помощью налога на выбросы углерода или льгот за производство с нулевым уровнем выбросов. В первом случае издержки будут нести потребители электроэнергии, а во втором – налогоплательщики. Экономические последствия будут компенсироваться в обоих случаях, а именно: увеличением налоговых поступлений в первом случае и снижением цен на электроэнергию во втором. Относительные издержки производителей электроэнергии на базе ископаемого топлива и производителей электроэнергии на базе низкоуглеродных технологий могут быть изменены с помощью ряда инструментов. Изменения должны иметь место в любом случае.

4.4. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Усилия многих стран по решению проблемы изменения климата являются одним из определяющих вопросов энергетической политики нашего времени. Многие страны проводят политику, направленную на содействие переходу к менее углеродоемким секторам энергетики и электроэнергетики.

Несмотря на то, что климатологи заявляют, что выбросы CO₂ и других парниковых газов растут, как и их концентрация в атмосфере и средняя глобальная температура, прогнозирование точных причин, путей дальнейшего попадания выбросов в окружающую среду, воздействий, приводящих к изменению климата, является сложной задачей со множеством факторов неопределённости. Что следует отметить на качественном уровне, так это то, что, согласно опубликованным исследованиям, затраты оцениваются десятками триллионов долларов. Ещё более важно то, что факторы неопределённости имеют большое значение и не укладываются в стандартное распределение вероятностей. Это затрудняет частное страхование и делает участие правительственных органов совершенно необходимым. Любые оценки будущих затрат также будут изменяться в широком диапазоне в зависимости от выбранной ставки дисконтирования. Таким образом, нет никакой возможности дать точную оценку социальной стоимости углеродосодержащих выбросов. Тем не менее, порядок величины в 100 долларов США за тонну CO₂ мог бы быть включен в диапазон возможных значений подавляющего большинства оценок, даже если все они имеют свои явные недочёты. Разумеется, что последние не являются результатом некомпетентности или нехватки ресурсов у исследователей, но обусловлены предметом изучения.

Вот почему процесс разработки политики остановился на этапе, на котором полные издержки, связанные с углеродосодержащими выбросами, учитываются косвенным, а не прямым образом с помощью количественного целевого показателя выбросов. Данная задача определяется на основе цели не допустить повышения средней глобальной температуры более чем на 2°C к концу столетия, что означает ограничение концентрации парниковых газов в атмосфере до 450 ppm эквивалента CO₂. Это, в свою очередь, касается путей попадания выбросов в окружающую среду как для всей планеты в целом, так и для различных регионов и стран.

Эти количественные целевые показатели предполагают определённый уровень предельных издержек на сокращение выбросов, которые, в очередной раз, являются предметом многочисленных исследований и дискуссий. В результате мета-анализа большого количества климатических моделей была получена средняя оценка в 129 долларов США за тонну CO₂ на 2025 год. Следует снова отметить, что к таким цифрам, полученным в результате использования нисходящих моделей очень высокого уровня, следует подходить с большой осторожностью. Можно сказать, что порядок величины, показываемый ими, сопоставим с оценками социальной стоимости выбросов углерода, что поддерживает цель недопущения повышения средней глобальной температуры более чем на 2°C.

Если объяснение и измерение последствий изменений климата, а также постановка соответствующих целей являются многоплановыми и затруднительными, интернализация внешних эффектов, связанных с углеродосодержащими выбросами, благодаря простоте процесса измерения антропогенных парниковых газов в точке выброса, в целом, не вызывает затруднений. Соответствующая цена выбросов CO₂ должна провести линию раздела между издержками на производство электроэнергии на ископаемом топливе и издержками на производство электроэнергии с использованием низкоуглеродных технологий, таких как ядерная энергетика, гидроэнергетика и энергетика на основе возобновляемых источников энергии.

Несмотря на концептуальную простоту, налогам на углеродосодержащие выбросы активно сопротивляются производители электроэнергии на ископаемом топливе и, в меньшей степени, потребители электроэнергии, недовольные повышением тарифов на электроэнергию, что является неизбежным последствием установления цен на углеродосодержащие выбросы. В этой ситуации поддержка низкоуглеродного производства электроэнергии, а не налогообложение углеродоёмкого производства, может быть экономически выгодной альтернативой для стран, стремящихся сократить выбросы парниковых газов. С экономической точки зрения, важно, чтобы такая поддержка предоставлялась как единичная субсидия на каждый МВт·ч низкоуглеродной электроэнергии. Не ограничиваясь узким толкованием принципа «Платит загрязнитель», перенос бремени сокращения выбросов парниковых газов с сектора электроэнергетики на налогоплательщиков может быть оправдан на основе исторических прав на использование. Однако для того, чтобы добиться прогресса в сокращении выбросов парниковых газов и преобразовании электроэнергетического сектора в направлении низкоуглеродной генерации, необходимо, чтобы в относительных издержках различных технологий учитывались социально и политически устойчивые результаты оценки воздействий на выбросы и климат, оказываемых каждой из них.

С экономической точки зрения налоги на углеродосодержащие выбросы остаются первым среди лучших инструментов, в том числе потому, что они легко применяются во всех секторах экономики. Однако, если политические реалии не позволяют этого, широко распространённая поддержка низкоуглеродной генерации, привязанная к единицам производства, может быть второй лучшей альтернативой.

Список литературы

- Dietz, S., A. Bowen, C. Dixon and P. Gradwell (2016), “‘Climate Value at Risk’ of Global Financial Assets”, *Nature Climate Change*, Vol. 6, pp. 676-679.
- IEA (2016), *World Energy Outlook 2016*, OECD, Paris, www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2016.
- IEA/NEA (2015a), *Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Edition*, OECD, Paris, p. 59, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf.
- IEA/NEA (2015b), *Technology Roadmap: Nuclear Energy*, OECD, Paris, Figure 3, p. 21, www.oecd-nea.org/pub/techroadmap.
- IPCC (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report - Summary for Policymakers*, Pachauri, R.K. and L.A. Meyer (PNAS eds.), IPCC, Geneva, Figure SPM.7, p. 12, www.ipcc.ch/pdf/assessment-

report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf.

- IPCC (2007a), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the IPCC, by Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- IPCC (2007b), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the 4th Assessment Report of the IPCC, by Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (PNAS eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York, Table SPM.5, p. 15, and 4.3.4.1 Electricity, Figure 4.19, www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf.
- Kopp, R.E., A. Golub, N.O. Keohane, A. Golub and C. Onda (2012), "The influence of the specification of climate change damages on the social cost of carbon", *Economics*, Vol. 6, pp. 1-40.
- Kuik, O., L. Brander and R.S.J. Tol (2009), "Marginal Abatement Costs of Greenhouse Gas Emissions: A Meta-Analysis", *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 4, 1395-1403, Research Gate, 18 pages, p. 3 and Table 5, p. 12, www.researchgate.net/publication/46496660_Marginal_abatement_costs_of_greenhouse_gas_emissions_A_meta-analysis.
- NEA (forthcoming), *System Costs in Deep Decarbonisation Scenarios: The Contributions of Nuclear Energy and Renewables*, OECD, Paris.
- Nordhaus, W.D. (2017), "Revisiting the Social Cost of Carbon", *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 114, Issue 7, pp. 1518-1523, Table 1, www.pnas.org/content/114/7/1518.full.pdf.
- Nordhaus, W.D. (2014), "Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and results from the DICE-2013r Model and Alternative Approaches", *Journal of the Association of Environmental Resource Economists*, Vol. 1(1), pp. 273-312.
- OECD (2015), "Monetary Carbon Values in Policy Appraisal", by Smith, S. and N. Braathen, OECD Environment Working Papers, No. 92, OECD, Paris, pp. 11-16, <http://dx.doi.org/10.1787/5jrs8st3ngvh-en>.
- OECD (2012), *The OECD Environmental Outlook to 2050: Key Findings on Climate Change*, OECD, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>.
- Pindyck, Robert S. (2013), "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?", *Journal of Economic Literature*, Vol. 51(3), pp. 860-872, <http://web.mit.edu/rpindyck/www/Papers/PindyckClimateModelsJELSept2013.pdf>.
- Samadi, S. (2017), "The Social Costs of Electricity Generation - Categorising Different Types of Costs and Evaluating Their Respective Relevance", *Energies*, Vol. 10, Issue 3, pp. 1-37.
- UNDP (2016), *Pursuing the 1.5°C Limit: Benefits & Opportunities*, UNDP, New York, NY, p. 18.
- UNFCCC (2015), "Paris Agreement", United Nations Framework Convention on Climate Change, <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
- Van den Bergh, J.C.J.M. and W.J.W. Botzen (2014), "A Lower Bound to the Social Cost of CO₂ Emissions", *Nature Climate Change*, Vol. 4, pp. 253-258.
- Weitzman M.L. (2011), "Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change", *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 5, Issue 2, pp. 275-292. <https://scholar.harvard.edu/files/weitzman/files/fattaileduncertaintyeconomics.pdf>.

Глава 5. Загрязнение воздуха

5.1. Введение

Загрязнение атмосферы возникает главным образом на этапе генерации электроэнергии и, вероятно, представляет собой наиболее важную проблему социальных издержек, связанных с производством электроэнергии, возможно, даже большую, чем риски, связанные с изменением климата. В то время как крупные аварии представляют собой проблемы, за которыми пристально следят как политики, так и население в целом, фактические затраты являются сравнительно низкими, как представлено в главе 6. Системные издержки (см. главу 3) имеют относительно высокий уровень, но, поскольку они по-прежнему ограничены сферой экономики, они не вызывают особого интереса со стороны средств массовой информации, общественности и политических кругов. Существует мало возможностей ухода от решения вопроса, когда речь идёт о загрязнении атмосферы.

Недавние исследования подтверждают, что масштабы загрязнения воздуха, с точки зрения заболеваемости и смертности, вполне могут быть самой большой не подвергшейся интернализации проблемой производства электроэнергии. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает загрязнение воздуха главной опасностью для окружающей среды на глобальном уровне. В рамках исследований ВОЗ, проведённых в 2014 и 2016 годах, было определено, что в 2012 году около 3 миллионов человек умерли в результате загрязнения окружающего воздуха, основным источником которого является производство электроэнергии (ВОЗ, 2014а, 2014б и 2016). Бытовое загрязнение воздуха привело к увеличению количества смертей ещё на 4,3 миллиона. Инсульты, ишемическая болезнь сердца, хроническая обструктивная болезнь лёгких и рак лёгких являются основными причинами смертности и заболеваемости, вызванной загрязнением воздуха (ВОЗ, 2016: с. 44). «Существует малое количество других рисков, оказывающих большее влияние на здоровье людей во всем мире, чем загрязнение воздуха; имеющиеся доказательства свидетельствуют о необходимости ведения согласованных действий по очистке воздуха, которым мы все дышим», - утверждает Мария Нейра, глава Департамента общественного здравоохранения ВОЗ. В то время как загрязнение атмосферного воздуха вызвано выработкой электроэнергии, транспортными средствами и другими видами промышленного производства, загрязнение воздуха внутри помещений вызвано использованием угля, нефтепродуктов, древесины или биомассы для приготовления пищи, освещения и отопления. Несмотря на то, что загрязнение воздуха внутри помещений является почти исключительной проблемой для стран, не входящих в ОЭСР, последние также подвержены последствиям загрязнения атмосферного воздуха. Согласно расчётам ВОЗ, 87% смертей являются результатом загрязнения атмосферного воздуха, имеющего место в странах с низким и средним уровнем доходов. Тем не менее, значительное количество людей подвержены воздействию загрязнения атмосферного воздуха и в странах ОЭСР. По оценкам ОЭСР, сделанным в 2015 году, расходы на социальные нужды, связанные со смертностью, являющейся результатом загрязнения атмосферного воздуха, достигают 1,4 триллиона долларов США в год в странах ОЭСР и 3,2 триллиона долларов США в год в мировом масштабе (ОЭСР, 2016: с. 91).

С точки зрения загрязнения окружающего воздуха, Международное энергетическое агентство (МЭА) указывает в публикации «Прогноз мировой энергетики, специальный отчёт по вопросам энергетики и загрязнения воздуха» (*World Energy Outlook (WEO) Special Report on Energy and Air Pollution*), что производство электроэнергии на основе ископаемого топлива является основным источником данной проблемы, но не единственным. Таким образом, энергетический сектор несёт ответственность за одну треть выбросов двуокиси серы (SO_2), что приводит к кислотным дождям, за 14% выбросов окислов азота (NO_x), загрязнителей-прекурсоров твёрдых частиц (ТЧ) и приземного озона, а также за 5% твёрдых частиц класса $PM_{2.5}$. В то время как производство электроэнергии и промышленность несут основную ответственность за выбросы SO_2 , транспорт является крупнейшим источником NO_x , а биомасса является крупнейшим источником твёрдых частиц класса $PM_{2.5}$. Внутри электроэнергетического сектора, доля выбросов при сжигании угля составляет от 70 до 90% выбросов трёх ключевых загрязнителей всего сектора (МЭА, 2016а: с. 26-44).

Эти оценки имеют дополнительную значимость вес из-за того, что выбросы, воздействия и затраты при производстве электроэнергии уже более 40 лет являются частью хорошо разработанного предмета исследований, причём некоторые высококачественные работы сходятся в методологии и величинам результатов. В некоторой степени, существует ощущение того, что полные затраты на производство электроэнергии значительно превышают учтённые производственные издержки на уровне электростанции, которое сформировалось под влиянием опасений по поводу воздействия загрязнения

воздуха на здоровье человека. Загрязнение от предприятий и электростанций является классическим примером понятий внешние или социальные издержки.

Политика, направленная на смягчение последствий загрязнения воздуха на местном уровне, также может снизить объём выбросов углекислого газа электростанциями, что наблюдается во многих странах ОЭСР (см. МЭА 2014b). Долгое время считавшиеся выгодным побочным эффектом декарбонизации, действия по борьбе с загрязнением всё чаще становятся основной движущей силой политики сокращения использования ископаемого топлива в производстве электроэнергии, а сокращение выбросов парниковых газов является желательным побочным эффектом. Фактически, в большинстве исследований, связанных со смягчением последствий изменения климата, преимущества от сокращения воздействия ТЧ, SO₂ и NO_x на организм человека перевешивают преимущества от сокращения выбросов парниковых газов и возникающего в связи с этим смягчения последствий изменения климата, что открывает новые перспективы для интернализации. Несмотря на общеизвестную сложность создания коалиций, необходимых для эффективных действий по вопросам глобального значения, таким как изменение климата, решение вопросов регионального и местного значения, часто происходит при более низком уровне транзакционных издержек и позволяет ускорить процесс интернализации, что также внесёт свой вклад в деятельность стран ОЭСР по сокращению выбросов парниковых газов.

5.2. Основные исследования и количественные оценки

Большая часть выбросов в атмосферу происходит на этапе выработки электроэнергии от сжигания ископаемого топлива. В последние годы большое количество эпидемиологических исследований способствовало углублению понимания различных воздействий на здоровье от веществ, загрязняющих воздух, и значительному увеличению уровней при оценке смертности (смерти) и заболеваемости (ухудшения здоровья), связанных с загрязнением воздуха.

Основными группами веществ, загрязняющих воздух, являются ТЧ, SO_x, NO_x, озон (O₃) и токсичные металлы. Твёрдые частицы представляют собой сложную смесь мелких частиц и жидких капель, состоящих из органических химических соединений, металлов, частиц пыли и почвы. Частицы обычно распределяются на группы крупнодисперсных твёрдых частиц диаметром менее 10 мкм (PM₁₀), которые выделяются непосредственно из источников, и группы тонкодисперсных твёрдых частиц диаметром менее 2,5 мкм (PM_{2,5}), которые образуются в ходе химических реакций с другими газами, выделяющимися при производстве электроэнергии, в том числе SO₂, NO_x, и другими. Оба типа частиц приводят к различным дыхательным проблемам, таким как обострения астмы, хронический бронхит и першение, но также к сердечной аритмии, другим сердечным заболеваниям и преждевременной смерти (АООС, 2012; ЕК, 2005а). Частицы класса PM_{2,5} считаются особенно опасными, поскольку они могут проникать глубоко в лёгкие (АООС, 2012), и согласно широкому ряду эпидемиологических публикаций, являются основным источником негативного воздействия на здоровье человека.

SO₂ является основным газом в группе окислов серы с высокой реакционной способностью, который способствует образованию частиц класса PM_{2,5}, а также различных раковых заболеваний, отрицательно воздействует на дыхательную систему и, как уже упоминалось, является причиной кислотных дождей (АООС, 2012). NO_x, которые также являются веществами с высокой реакционной способностью, включают диоксид азота (NO₂), азотистую кислоту (HNO₂) и азотную кислоту (HNO₃) (АООС, 2012). Эти газы, в частности NO₂, могут непосредственно вызвать воспаление лёгочных тканей и вступать в химические реакции с аммиаком (NH₃) и другими частицами, в результате чего образуются частицы класса PM_{2,5}. Под действием солнечного света они также вступают в реакцию с различными видами летучих органических соединений (ЛОС), создавая приземный O₃, вторичную частицу, которая вызывает воспалительный процесс и усугубляет другие респираторные патологии (АООС, 2012). Производство электроэнергии, в частности из отходов и, в меньшей степени, из угля, также может привести к выбросу токсичных металлов в атмосферу. Некоторые из них являются канцерогенными, такие как мышьяк (As), кадмий (Cd), хром (Cr) и никель (Ni), в то время как ртуть (Hg) и свинец (Pb) являются опасными нейротоксинами (ЕК, 2005а).

Радионуклиды или радиоизотопы (атомы, испускающие излучение) являются основными веществами, загрязняющими воздух, связанными с атомной энергетикой, выброс которых происходит контролируемым образом при нормальной эксплуатации, или неконтролируемым образом при возникновении аварийных ситуаций. При попадании в организм радиоизотопы воздействуют на разные органы разным образом. При очень высоких уровнях они могут привести к серьёзному повреждению клеток и организма, что может стать причиной смерти. При более низких уровнях клетки могут быть повреждены и успешно восстановлены, но могут быть неудачно восстановлены и стать злокачественными. Тем не менее, вероятность возникновения раковых заболеваний в результате

регулярной работы на атомной электростанции чрезвычайно мала. В среднем каждый человек на планете получает дозу 2,4 миллизиверта (мЗв) в год, даже если это значение может быть значительно разным для разных людей. Такое воздействие объясняется естественным радиационным фоном, существующим повсеместно на планете, несмотря на значимую зависимость от географических характеристик местности и высоты над уровнем моря. В дополнение к дозе естественного фонового излучения, люди всё чаще подвергаются воздействию ионизирующего излучения промышленного происхождения, главным образом в результате медицинских диагностических и терапевтических процедур. Доза радиоактивного облучения, выделяемая при выработке электроэнергии при нормальной эксплуатации, примерно на два порядка ниже дозы облучения от естественного фона и медицинских процедур.

Загрязнение воздуха долгое время было предметом беспокойства политиков в странах ОЭСР. Тем не менее, если ущерб от кислотных дождей, вызванных выбросами SO₂, был общепризнанным фактом на протяжении десятилетий, исследователи начали осознавать отрицательное воздействие на здоровье человек других химических веществ, загрязняющих воздух, только в 1990-х годах. Понимание воздействия загрязнения воздуха на местном уровне на показатели смертности и заболеваемости, имеет жизненно важное значение для содействия политике сокращения загрязнения окружающей среды в электроэнергетическом секторе, особенным образом в вопросах, касающихся перехода систем электроснабжения на источники с низким или нулевым уровнем углеродосодержащих выбросов.

С точки зрения ущерба, вызываемого загрязнением воздуха, источники электроэнергии можно поделить на две группы. Источники на основе углерода (уголь, природный газ, нефть и биомасса) выделяют вещества, загрязняющие воздух на местном уровне, в процессе генерации электроэнергии, в то время как источники, отличные от источников на основе углерода (ядерная, ветровая, солнечная, геотермальная, приливная и гидроэнергия) выделяют либо небольшой объём загрязняющих веществ, либо не загрязняют воздух в процессе генерации. Косвенное загрязнение происходит в процессе производства стали и бетона для строительства электростанций. В целом, издержки, связанные с загрязнением воздуха источниками на основе углерода, на несколько порядков выше издержек, связанных с загрязнением воздуха источниками, отличными от источников на основе углерода, а затраты, связанные с загрязнением воздуха в процессе производства электроэнергии угольными электростанциями, намного выше соответствующих издержек электростанций, использующих другие виды топлива на углеродной основе (см. табл. 5.1 ниже).

Таблица 5.1: Обзор ключевых элементов выбросов различными технологиями производства электроэнергии

	мг/кВт·ч	SO ₂	NO _x	PM	Hg
Угольные электростанции	Каменный уголь	530-7 680	540-4 230	17-9 780	0.01-0.037
	Лигнит	425-27 250	790-2 130	113-947	Неполные данные
Электростанции, работающие на природном газе	Комбинированного цикла	1-324	100-1 400	18-133	Неполные данные
	Паровая турбина	0-5 830	340 (-) 020	Неполные данные	Неполные данные
АЭС		11-157	9-240	0-7	Неполные данные
Биоэнергетика		40-490	290-820	29-79	Неполные данные
Производство солнечной энергии	Фотоэлектрическая энергия	73-540	16-340	6-610	~0
	КСЭ	35-48	54-160	7-26	Неполные данные
Геотермальная энергия		0-160	0-50	1,3-50	~0
Гидроэлектростанции	С водохранилищем	9-60	3-13	0,1-25	Неполные данные
	Речные	1-6	4-6		Неполные данные
Океанические / приливные электростанции		64-200	49	15-36	Неполные данные
Ветряные электростанции		3-88	10-75	1-14	~0

Источник: по материалам Масане и др. (*Masanet et al.*), 2013.

За несколько последних десятилетий во всех странах ОЭСР объём выбросов всех веществ, загрязняющих воздух, включая выбросы в процессе производства электроэнергии, значительно сократился. Это обусловлено сочетанием введения более строгих ограничений по выбросам и соответствующих норм по качеству окружающего воздуха, а также переходом от производства электроэнергии на угольной основе к менее загрязняющим видам энергии, таким как ядерная, ветровая, солнечная, энергия природного газа и угля с меньшим содержанием серы. Таким образом, с 2005

по 2014 год, в рамках программ торговли квотами на выбросы Агентства по охране окружающей среды США, объём выбросов SO₂ производителями электроэнергии сократился на 69%, упав с приблизительно 10 миллионов тонн до 3 Мт, а объём выбросов NO_x - на 55%, уменьшившись с приблизительно 3,6 Мт до 1,6 Мт за тот же промежуток времени.

Тем не менее, масштаб последствий остаётся значительным. Например, Каяццо и др. (Caiazzo *et al.*, 2013) обнаружили, что в Соединенных Штатах Америки в процессе производства электроэнергии достигается уровень концентрации частиц класса PM_{2,5}, равный 2,27 мкг на кубический метр, что вызывает около 52 000 случаев преждевременной смерти в год. Для сравнения, около 53 000 человек в год гибнет в результате смертельных автомобильных аварий. На сектор электроэнергетики также приходится 38% выбросов аммиака (NH₃) и 70% выбросов SO₂ (диоксида серы). В то же время, в процессе выработки электроэнергии образуется 2,15 млрд⁻¹ озона год, что составляет менее трети соответствующих выбросов, приходящихся на долю автотранспорта и только 16% выбросов NO_x. Фактически, дизельные двигатели выделяют большие объёмы NO_x и, следовательно, являются основным источником приземного озона.

Местоположение остаётся основным фактором, определяющим масштабы ущерба. Таким образом, производство электроэнергии оказывает серьёзное воздействие на среднеатлантический, центрально-восточный и среднезападный регионы США, в направлении которых дует ветер с электростанций, использующих уголь с высоким содержанием серы, добываемый в Аппалачах. Показатели смертности, измеряющиеся в количестве смертей на 100 000 человек, составляют 20 и 30 человек, и достигают почти 40 в штате Кентукки (Каяццо и др., 2013). Поскольку содержание серы существенно влияет на оценку ущерба от угольной генерации, уровень негативного воздействия на здоровье человека значительно ниже в регионах, которые используют уголь с низким содержанием серы из бассейна реки Паудер в штатах Вайоминг и Монтана. Далее мы кратко представим основные факторы воздействия различных источников электроэнергии.

Ископаемые виды топлива

Уголь

Производство электроэнергии из угля и лигнита является самым крупным источником загрязнения воздуха. Уголь также является самым распространённым источником для производства электроэнергии во всём мире, составляя 41 % от общего объёма производимой электроэнергии по состоянию на 2014 год, т. е. наибольшую долю из всех источников топлива, и 32 % от объёма производимой электроэнергии в странах-членах ОЭСР (МЭА, 2016b). Масштабы загрязнения воздуха, в частности твёрдыми частицами и SO₂, которые выпускаются при использовании угольного топлива, в сравнении с другими источниками является шокирующим. Степень загрязнения от других источников электроэнергии, включая природный газ, даже не может быть приближена к той, которая достигается при использовании угля.

Из 9,46 Мт окиси серы, которые были выброшены в атмосферу в США в 2005 году, около 95 % приходится на угольные электростанции (Каяццо и др., 2013). Помимо прямого воздействия на здоровье, SO₂ также вызывает коррозию как металлических, так и неметаллических строительных материалов. Неметаллические материалы, такие как камень, содержащий карбонат кальция, имеют прямую функциональную зависимость «доза-ответная реакция», тогда как в отношении металлов коррозия является несколько более сложным процессом. Наряду с озоном и окислами азота, SO₂ наносит ущерб лесам, рыбным хозяйствам и другим экосистемам, выпадая в виде «кислотных дождей».

Помимо выбросов твёрдых частиц и SO₂, угольные электростанции также являются источником существенного уровня излучения. Природный уголь содержит следы урана и тория, и уровень излучения становится заметным, когда эти радиоактивные элементы концентрируются в зольной пыли (PM₁₀), выбрасываемой при сгорании угля. Так, ряд исследований, проведённых с момента публикации первоначального отчёта в журнале Science (МакБрайд и др., (McBride *et al.*, 1978)) показали, что несмотря на то, что уровни радиации остаются незначительными, угольные электростанции испускают значительно большие излучения, чем атомные электростанции при нормальной эксплуатации (см. также отчёт НКДАР ООН, 2016). Площадки для хранения угольных отходов также являются источником значительного излучения ввиду присутствия зольной пыли. Однако даже при таких уровнях масштабы ущерба от излучения на несколько порядков ниже уровня других внешних воздействий, возникающих при использовании угля для производства энергии.

Уголь также связан с ущербом, причиняемым выбросом токсичных металлов, например, негативным воздействием на сельское хозяйство, величину которого не всегда возможно установить. Последним, но немаловажным моментом также является то, что количество производственных травм и смертельных несчастных случаев при добыче и транспортировке угля, включая повреждение дыхательных путей, также выше, чем при работе с другими источниками энергии (см. главу 6). Уровень воздействия радона и пыли, которое приводит к аналогичным негативным последствиям, также является высоким, особенно при подземной добыче угля (ЕК, 1995). В 2007 году в США при добыче угля было зафиксировано 159 случаев

профессиональных заболеваний, 40 из которых являлись респираторными заболеваниями, вызванными воздействием пыли (Комиссия по ядерному регулированию США (КЯР) (NRC), 2010).

Нефть и природный газ

Как правило, нефть и природный газ объединяются для целей анализа внешних издержек, даже не смотря на то, что газ оказывает меньшие, по сравнению с нефтью, воздействия. Однако в обоих случаях масштабы влияния на здоровье значительно ниже, чем при производстве электроэнергии угольными электростанциями. При этом следует отметить, что доля нефти в производстве электроэнергии довольно скромна и составляет лишь 4 % на мировом уровне и 3 % в странах-членах ОЭСР. Между тем, природный газ является основным источником электрической энергии, составляя по состоянию на 2014 год 22 % от мирового объема производимой электроэнергии и 24 % от объема электроэнергии, производимой в странах ОЭСР (МЭА, 2016b).

Операции по разведке, бурению и переработке аналогичны как для нефти, так и для природного газа. Буровое оборудование, работающее на дизельных двигателях, которые выбрасывают в атмосферу значительный объем твердых частиц, окислов серы и азота, является крупным источником загрязнения воздуха. Во время операций по добыче также может выделяться сероводород (H_2S), присутствующий в так называемом «кислом газе». Выбросы твердых частиц также происходят при применении метода гидравлического разрыва пластов. При этом, в случае природного газа, существует риск утечки газа из резервуаров для хранения и трубопроводов. Большая доля смеси, выделяющейся при таких утечках, приходится на метан, который является основным компонентом природного газа и представляет собой мощный парниковый газ и потенциальный газ-прекурсор ЛОС, который может образовывать озон в результате реакции с окислами азота. В своей работе Доунс и др. (Dones et al., 2005) провели анализ полного топливного цикла природного газа, результаты которого показали, что половина выбросов неметановых ЛОС, 40 % твердых частиц, 20 % NO_x и 80 % SO_2 происходит при бурении и добыче (КЯР, 2010). В рамках этого же исследования было определено, что ущерб от выбросов SO_2 составил всего 4 % в случае природного газа по сравнению с 85-процентным уровнем ущерба в случае угля. Поскольку выбросы SO_2 сопряжены с большим уровнем издержек, связанных с ущербом, такие показатели способствуют снижению общего уровня издержек, связанных с ущербом. В среднем общие издержки на кВт·ч, связанные с ущербом, в случае угольных электростанций в 20 раз превышают аналогичные затраты газовых электростанций (КЯР, 2010).

Биомасса

Проанализировать внешние издержки электростанций, работающих на биомассе, достаточно сложно, учитывая то, что энергетическое сырье из биомассы само по себе является обширной категорией, включающей в себя различные источники и значимым образом сконцентрированной в определенных зонах. Для производства электроэнергии энергетическое сырье из биомассы превращают в жидкость или газ, или сжигают в первоначальном состоянии. Из всех возобновляемых источников энергии биомасса отличается тем, что она используется во всех секторах, включая транспорт и промышленность. Несмотря на то, что биомасса считается возобновляемым источником энергии и не вызывает большого объема выбросов парниковых газов в рамках своего топливного цикла, выбросы загрязняющих веществ на МВт·ч выработки биологической электроэнергии могут быть существенными. Ее значительный вклад в загрязнение воздуха внутри помещений уже был указан в разделе 5.1.

Электростанции, работающие на биомассе, как правило, не отличаются большими размерами и располагаются в районах роста топливных культур, поскольку затраты на их транспортировку достаточно высоки. Обычно они функционируют в сельских районах, где ущерб от загрязнения воздуха ниже, чем в других местах. Основным источником негативного воздействия в случае биотоплива является ущерб здоровью, причиной которого является выброс твердых частиц и образование озона за счет присутствия NO_x . Таким образом, порядок издержек, связанных с загрязнением воздуха в случае сжигания биомассы, аналогичен уровню соответствующих издержек в случае сжигания угля.

Низкоуглеродные источники

Ядерная энергия

В 2014 году на долю атомных электростанций (АЭС) приходилось 11 % мирового объема производства электроэнергии и 18 % аналогичного показателя в странах-членах ОЭСР (МЭА, 2016b). В ходе нормальной эксплуатации ядерные электростанции не производят выбросов загрязняющих веществ, кроме незначительного количества радионуклидов. Уровень издержек, связанных с загрязнением воздуха на операциях, предшествующих эксплуатации атомных электростанций, может быть значительно выше. Как и в случае с добычей угля, добыча урана может осуществляться как на поверхности, так и под землей. Воздействие радиологического облучения может происходить при вдыхании радиоактивной пыли, попадании в организм радионуклидов вместе с пищей или водой, а также при непосредственном облучении. Последний случай представляет собой фактор производственного

риска для персонала, работающего в подземных урановых рудниках. Для населения самым значительным источником негативного воздействия на здоровье при добыче урана является попадание радона в поверхностные или подземные воды. Небольшое количество радона и радиоактивной пыли также попадает в воздух при добыче. Установки по конверсии и обогащению урана сами по себе не являются источниками загрязнения воздуха, однако они потребляют большое количество электроэнергии. В зависимости от структуры генерирующих мощностей, они могут быть причиной косвенного воздействия, что, однако, не связано напрямую с самой атомной энергией.

Что касается самого процесса производства электроэнергии, обычные выбросы радионуклидов, объём которых меньше объёма выбросов зольной пыли в случае угольных станций (Макбрайд и др., 1978; отчёт НКДАР ООН, 2016), не рассматривались в качестве значительных воздействий в рамках крупных исследований, таких как проект ExternE (ЕК, 1995) или исследование Комиссии по ядерному регулированию (2010). Доказано, что высокие концентрации радиоактивных веществ вызывают рак, однако уровень концентраций, которые имеют место в рамках обычной деятельности электростанций, значительно ниже канцерогенного уровня. Фактически, уровень влияния на заболеваемость в форме рака с летальным или нелетальным исходом, или на наследственные эффекты «крайне низок» (Маркандья и Вилкинсон (*Markandya and Wilkinson*), 2007). Действительно, предполагаемый уровень смертности по причине облучения в случае угольных электростанций очень низок. Для АЭС этот уровень ещё более низок. Статистически значимый риск раковых заболеваний был обнаружен только при дозах, значительно превышающих те, которые достигаются при стандартных атмосферных выбросах АЭС.

Ветровая энергия

В 2014 году объём производства электроэнергии ветряными электростанциями составил 3 % в мировом масштабе и 5 % в странах-членах ОЭСР (МЭА, 2016b), однако ожидается быстрый рост этих показателей. Как и в случае с атомной энергетикой, при ветрогенерации практически отсутствуют выбросы загрязняющих атмосферу веществ (как на местном, так и на региональном уровне), а сопутствующие воздействия на здоровье возникают на этапах, предшествующих генерации электроэнергии, в частности, при производстве турбин, что, необходимо повториться, зависит от структуры генерирующих мощностей. Таким образом, уровень издержек, связанных с загрязнением воздуха, для ветряных электростанций является незначительным. Именно поэтому исследования, анализирующие внешние издержки, концентрируют внимание на потенциальных экологических и шумовых воздействиях таких электростанций.

Турбины для ветряных электростанций на 90 % состоят из металла и требования к транспортировке при сооружении ветряных электростанций, особенно морских, могут быть достаточно строгими (КЯР, 2010). Уровень выбросов (особенно в отношении твёрдых частиц) при выполнении работ по добыче и транспортировке аналогичен уровню, касающемуся добычи угля и урана. Производство стали само по себе сопряжено с определённым уровнем выбросов твёрдых частиц, таких как технический углерод в дополнение к выбросам при производстве электроэнергии.

Гидроэнергетика

Энергия водных ресурсов является крупнейшим возобновляемым источником электроэнергии в мире, на который по состоянию на 2014 год приходится 16 % объёма производства электроэнергии в мире и 13 % в странах-членах ОЭСР (МЭА, 2016b). Тем не менее, дальнейшее увеличение мощности таких ресурсов в странах-членах ОЭСР ограничено с учётом того, что наилучшие источники уже задействованы, а также в связи с ростом обеспокоенности вопросами, касающимися окружающей среды. Аналогично ветряным или ядерным электростанциям, производство электроэнергии на гидроэлектростанциях не сопряжено с прямыми выбросами в атмосферу. Как и в случае с другими возобновляемыми источниками энергии, атмосферные выбросы имеют место на этапе производства оборудования, а также строительства плотин, где используются стальные и бетонные конструкции. При этом прямое воздействие гидроэнергетики на атмосферу является незначительным по сравнению как с воздействием на загрязнение воздуха угольных источников энергии, так и с внешними издержками самой гидроэнергетики в отношении экосистемы и разрушения ландшафта, имеющего эстетическую ценность.

Фотоэлектрическая солнечная энергия

В 2014 году объём электроэнергии, произведённой источниками фотоэлектрической солнечной энергии составил 1 % как мирового объёма, так и объёма в странах-членах ОЭСР (МЭА, 2016b). В этом случае также ожидается быстрый рост данных показателей. Так как до начала последнего десятилетия фотоэлектрическая солнечная энергия широко не использовалась в качестве источника электроэнергии, анализ путей воздействия такой энергии является ограниченным. Широко цитируемые более ранние исследования, которые проводились, например, в рамках проектов ORNL-RFF и ExternE, абсолютно не учитывали солнечную энергию. Кроме того, солнечная энергия является единственным источником энергии, базовая технология получения которой значительным образом изменилась за последние 30 лет. Так, производство фотоэлектрических панелей представляет собой основной источник атмосферных выбросов в рамках топливного цикла солнечной энергии, в процессе генерации которой уровень

выбросов является нулевым. Таким образом, изменения в процессах изготовления компонентов имеют существенную значимость для определения издержек, связанных с загрязнением воздуха при использовании солнечной энергии.

В рамках жизненного цикла солнечной энергетической установки выделяется значительно меньший объём загрязняющих атмосферу веществ по сравнению с электростанциями на ископаемом топливе, но больший, чем в случае атомных, ветряных электростанций или гидроэлектростанций. Выбросы токсичных металлов при добыче и плавлении в процессе производства фотоэлектрических панелей стали причиной немалой обеспокоенности. Общий объём прямых выбросов кадмия, который является основным компонентом для некоторых фотоэлектрических технологий, составляет примерно 0,015 г/ГВт·ч, оставаясь при этом на несколько порядков ниже объёма выбросов кадмия в случае электростанций на ископаемом топливе (Фтенакис и др., (*Fthenakis et al.*) 2008). Среди других металлов встречаются хром и мышьяк, получаемые из медных и свинцовых сплавов и легированной стали. Значительная разница между уровнями выбросов различных фотоэлектрических технологий, таких как монокристаллический или поликристаллический кремний, отсутствует (Фтенакис и др., 2011; ЕК, 2005b). В рамках исследований в качестве предмета беспокойства также выделяются отходы отработавших солнечных панелей. Уровень выбросов в атмосферу таких отходов минимален, однако токсичные химические вещества могут попасть в воду и почву.

Геотермальная энергия

Генерация геотермальной электроэнергии с использованием тепла, выделяемого земной корой, для нагрева воды составляет менее 1 % в общем объёме производства электроэнергии. Существуют строгие ограничения, связанные с местоположением источников геотермальной энергии, поскольку только в определённых зонах температура у поверхности земли находится в диапазонах, соответствующих критериям широкомасштабного использования на уровне электростанций.

При этом геотермальные электростанции всё же выпускают некоторое количество загрязняющих атмосферу веществ на местном уровне в процессе генерации электроэнергии, являясь единственным безуглеродным источником электроэнергии, для которого характерны такие выбросы. Эти выбросы в атмосферу состоят преимущественно из углекислого газа и сероводорода (H₂S, который является источником запаха «тухлых яиц»). Несмотря на отсутствие окончательно определённой функции «концентрация-эффект» (ФКЭ) для H₂S, он является потенциально токсичным. При этом концентрация в редких случаях имеет уровень, достаточный для причинения вреда, к тому же постоянно выполняется очистка всех вентиляционных отверстий. Также могут иметь место выбросы SO₂, метана, азота, водорода и аммиака (Голдстейн и др. (*Goldstein et al.*), 2011). Точный состав выбросов значимым образом зависит от воды, используемой на конкретных геотермальных площадках. Уровень этих выбросов является незначительным и обычно не принимается в расчёт, так как геотермальные электростанции, как правило, строятся вдали от сильно заселённых территорий и оснащаются высокоэффективной системой фильтрации.

Приливная энергия

Использование кинетической энергии приливов и волн для производства электроэнергии на сегодняшний день все ещё находится на экспериментальной стадии. В этом случае, в очередной раз, выработка электроэнергии сама по себе не является источником атмосферных выбросов. В части косвенных выбросов в данном случае применимы замечания, сделанные выше для атомной, ветровой и фотоэлектрической солнечной энергетики. Уровень издержек на передачу может быть высоким, если оптимальные источники энергии находятся вдали от производственных площадок. В целом же генерация электроэнергии, использующая источники приливной энергии, предположительно никак не влияет на качество окружающего воздуха. Более важным является воздействие на эстуарии в местах строительства приливных электростанций.

5.3. Оценка ущерба

Начиная с середины 1990-х, в результате нескольких крупных исследований были собраны данные о социальных издержках, связанных с производством и использованием электроэнергии, включающих в себя затраты, связанные с загрязнением воздуха на местном и региональном уровне. Среди этих исследований можно перечислить следующие: исследование компании Hagler Bailly Consulting для штата Нью-Йорк (1995), изыскания Национальной лаборатории Оук-Ридж и организации «Ресурсы для будущего» (*Resources for the Future*) (ORNL и RFF, 1995), а также исследование КЯР (2010) в Соединённых Штатах Америки и отчёты, составленные по результатам проекта ExternE (ЕК, 1995; ЕК, 2005a) и проекта исследований внешних эффектов новых видов энергетики в рамках устойчивого развития (NEEDS) (ЕК, 2005b) в Европе. Наиболее детальными являются исследования ORNL-RFF и ExternE. В своей работе Бертрау и др. (2012) перечисляют данные работы в числе лучших первичных исследований по оценке полных издержек на производство электроэнергии. Несмотря на то, что каждое исследование отличается специфическими особенностями, использованными для анализа затрат,

связанных с загрязнением воздуха в рамках анализа жизненного цикла разных технологий, базовая методология всех работ является общей:

- 1) выбросы привязываются к уровням концентрации в окружающей среде;
- 2) воздействия на организм, называемые во многих исследованиях «нагрузками», определяются на основе уровня концентрации в окружающей среде;
- 3) на основании воздействий оценивается размер издержек или ущерба.

Природоохранные органы большинства стран-членов ОЭСР составили специальные списки основных загрязняющих воздух веществ, для которых производятся замеры уровня выбросов. Так, например, в США Агентство по охране окружающей среды (АООС) ведёт Национальный реестр выбросов (NEI), в котором представлена оценка выбросов для 187 вредных загрязнителей атмосферы с указанием информации, полученной от каждого штата и местных агентств, вплоть до объектного уровня (см. сайт АООС: www.epa.gov/ttn/chief/net/2011inventory.html). Европейское агентство по окружающей среде (ЕАОС) ведёт Европейский реестр выбросов и переноса загрязняющих веществ (E-PRTR), в котором собраны данные о 91 загрязнителе вплоть до объектного уровня (<http://prtr.ec.europa.eu/#/home>). В других странах также ведутся аналогичные списки, однако глобального перечня для местных загрязняющих веществ всё ещё не существует (Аманн и др. (Amann et al), 2013).

ЕАОС составило оценку стоимости последствий загрязнения воздуха в Европе на период с 2005 по 2012 год с учётом новых данных по выбросам загрязняющих воздух веществ, применяемых в функциях расчёта ущерба (стоимость ущерба на тонну), определённых методиками, применяемыми в рамках программы Европейской комиссии «Чистый воздух для Европы» (ЕАОС, 2014b). Было установлено, что за период с 2008 по 2012 год общая сумма издержек, связанных с ущербом в результате воздействия основных загрязнителей воздуха (NH_3 , NO_x , PM_{10} , SO_2 и ЛОС) находится в пределах от 40 до 115 миллиардов евро, в зависимости от методологических определений, касающихся оценки статистической жизни. В отчёте указывается тенденция к понижению размера издержек, рассчитанных агентством с 2005 по 2012 год, что объясняется постепенным ужесточением требований природоохранного законодательства, а также снижением промышленного выпуска после экономического кризиса.

Тогда как измерение уровня выбросов, даже всё ещё неполное, является сравнительно простым процессом, моделирование рассеивания загрязняющих воздух веществ от источников выбросов – процесс куда более сложный. Он включает в себя моделирование распространения загрязнителей непосредственно от источника на более обширные территории, а также формирование других частиц, таких как молекулы озона, из первичных загрязнителей. Цель такого моделирования заключается в создании модели концентрации в окружающей среде различных веществ. В рамках исследований ExternE, ORNL-RFF и Hagler Bailly использовались варианты комплексной долгосрочной модели расчёта дисперсии выбросов от промышленных источников (ISCLT), построенной на базе модели оценки качества воздуха в ближнем радиусе рассеивания. Комиссия по ядерному регулированию в своем исследовании 2010 года использовала же более новую «Модель экспериментов и политики в отношении выбросов в атмосферу» (АРЕЕР) (Бертрау и др., 2012). В обоих исследованиях использовалась Гауссова модель факела, предполагающая, что загрязняющие вещества переносятся ветром по прямой линии, смешиваясь горизонтально и вертикально для образования концентраций нормального (Гауссова) распределения (ЕК, 2005a). В рамках проектов ExternE и ORNL-RFF также применялись отдельные модели для оценки концентраций озона из источников выбросов NO_x и ЛОС, способствующих его формированию. В рамках проекта ExternE также использовался метод привязки оценки качества воздуха на региональном уровне к моделированию почвенных процессов и водных режимов, поскольку негативное воздействие загрязняющих веществ не ограничивается их вдыханием. В частности, токсичные металлы могут попадать в организм вместе с пищей и напитками.

Несмотря на большой уровень неопределённости и отсутствие данных о точных эффектах воздействия многих химических веществ на организм человека, в вопросе оценки воздействия выбросов наблюдается значительный прогресс. В последние годы были разработаны дистанционные методы мониторинга с использованием спутников и методы обратного моделирования, которые используются для утверждения данных, заносимых в реестры выбросов. Данный метод нисходящего анализа подтверждает тенденции восходящей оценки стоимости. Не будучи включенными в рамки точной науки, всеобъемлющие знания о загрязняющих веществах, переносимых по воздуху, и их воздействии на здоровье были собраны в единую систему, которая продолжает совершенствоваться.

Определение стоимости ущерба по типам выбросов

Зависимость между концентрациями загрязняющих воздух веществ и воздействием на здоровье можно разделить на две категории: смертность (преждевременная смерть) и заболеваемость

(инвалидность и болезнь). Долгое время экономисты и исследователи состояния общественного здравоохранения при оценке издержек, связанных с загрязнением воздуха, фокусировали внимание на смертности. Базовая методология оценки смертности в результате загрязнения воздуха заключается в определении функций «концентрация-эффект» (ФКЭ), также называемых функциями «доза-эффект» (Каяццо и др., 2013).

В большинстве исследований ФКЭ считаются линейными и описываются в отчёте Европейской комиссии (2005а) как «главная составляющая подхода, основанного на прослеживании маршрута воздействия». АООС в США ведёт перечень воздействий на здоровье в своей базе данных IRIS, которая также содержит ФКЭ для большинства главных загрязняющих веществ. Однако для большинства малозначимых загрязняющих веществ, в частности, для токсичных металлов, ФКЭ до сих пор отсутствуют. Тем не менее, все исследования приходят к единому заключению о том, что именно воздействие твёрдых частиц является основным источником преждевременной смерти, вторым по уровню воздействия является озон. Необходимо, однако, учитывать, что информация о воздействии SO_2 , NO_x и токсичных металлов на здоровье постоянно обновляется.

Обычно ФКЭ шести основных загрязнителей воздуха (твёрдые частицы, приземный озон, угарный газ, окислы серы, окислы азота и свинец) считаются линейными без пороговых значений, что соответствует линейной беспороговой модели. В этом заключается серьёзная методологическая проблема. Так, например, в исследовании ExternE говорится о том, что при изучении воздействий на организм загрязняющих воздух веществ «требуется наличие сравнительно больших доз для получения видимого ненулевого результата, если сам образец не является достаточно большим» (ЕК, 2005а). При этом такие дозы значительно превышают стандартные концентрации, которые встречаются в странах Европейского Союза и Северной Америке. Таким образом, линейная экстраполяция данных для низких доз является проблематичной и неопределённость усугубляется, если используются результаты лабораторных экспериментов на животных вместо эпидемиологических исследований, проводимых на больших группах людей (ЕК, 2005а; Бертрау и др., 2012). Однако в рамках многих исследований, в частности ORNL-RFF (1995) и ЕК (1995), ранее использовалась именно линейная беспороговая модель. Это объясняется тем, что непонятно, чем можно было бы заменить линейную беспороговую модель, если пороги и общий профиль функции «концентрация-эффект» при имеющихся низких дозах неизвестны.

В то же время оценка воздействий на уровне заболеваемости представляется ещё более сложной. Тогда как в случае смертности имеется всего одна конечная точка, в случае заболеваемости их целое множество. Так, например, в исследовании ExternE среди воздействий указываются: хронический бронхит, новые случаи хронических сердечно-сосудистых заболеваний, госпитализация по поводу респираторного события, консультирование у терапевта по вопросам заболеваний дыхательных путей, использование лекарств для заболеваний дыхательных путей, таких как астма, и уровень заболеваемости раком в случае воздействия токсичных металлов. Все эти воздействия сгруппированы для создания единицы измерения новых случаев, событий или дней на единицу населения для 1 мкг/м^3 загрязнителя.

Подобные категории и случаи также использованы в исследованиях ORNL-RFF (1995) и Комиссии по ядерному регулированию (2010). В исследовании NEEDS (ЕК, 2007) был включён индекс заболеваемости, измеряемый в годах жизни, скорректированных по нетрудоспособности (DALY), который в эпидемиологической литературе также известен как индекс утерянных скорректированных на качество жизни лет (QALY). Так же, как в рамках эпидемиологических исследований измерение смертности осуществляется по случаям смерти или потерянными годам жизни, заболеваемость может измеряться по конечным точкам, как в ExternE, или с применением индексов QALY или DALY, что, будучи несколько иной методикой, в итоге позволяет рассчитать количество здоровых лет жизни, потерянных по причине болезни. В то время как оба показателя являются приемлемыми для измерения уровня заболеваемости, встает вопрос о том, в какой степени они могут быть привязаны к денежной компенсации ущерба.

Очень немногие исследователи брались за обобщение и сравнение общих воздействий на уровень смертности и заболеваемости при использовании различных источников производства электроэнергии. Одним из похвальных (и авторитетных) исключений является мета-исследование, проведённое Анилом Маркандья и Вилкинсоном в 2007 году и опубликованное в медицинском журнале *The Lancet*, основные результаты которого приводятся в табл. 5.2.

Разумеется, уровень неопределённости, существующей в рамках этого и аналогичных анализов, огромен. Однако следует отметить, что на сегодняшний день в вопросе социальных издержек, связанных с загрязнением воздуха в процессе выработки электроэнергии, используется опыт, накопленный за 50 лет исследований в данной области, а также результаты значительного улучшения методов эпидемиологических исследований. В отношении анализа внешних издержек в других областях, включая изменение климата, такой аналогичной исторически значимой давности не существует.

Эпидемиологические исследования по таким типам ущерба для здоровья продолжаются, а вместе с ними и оценка стоимости такого ущерба. Несмотря на то, что благодаря опыту исследований и

нормирования, загрязнение воздуха на местном и региональном уровне стало одним из наиболее идентифицированных видов внешних издержек, связанных с производством электроэнергии, исследования в этой области продолжаются. В частности, исследователи начали изучение различных компонентов PM₁₀ и PM_{2,5} в связи с выявлением того, что эти компоненты наносят разный по уровню ущерб здоровью и имеют разную длительность жизненного цикла в атмосфере.

Таблица 5.2: **Воздействия на здоровье при производстве электроэнергии, оказываемые первичным источником энергии**

(Европа, смерть/случаи на ТВт·ч)

	Смерть в результате аварии		Воздействия в результате загрязнения воздуха		
	Среди населения	На рабочем месте	Смерть*	Серьёзное заболевание [†]	Заболевание в легкой форме [‡]
Лигнит	0,02 (0,005 – 0,08)	0,10 (0,025 – 0,4)	32,6 (8,2 – 130)	298 (74,6 – 1 193)	17 676 (4 419 – 70 704)
Уголь	0,02 (0,005 – 0,08)	0,10 (0,025 – 0,4)	24,5 (6,1 – 98,0)	225 (56,2 – 899)	13 288 (3 322 – 53 150)
Газ	0,02 (0,005 – 0,08)	0,001 (0,0003 – 0,004)	2,8 (0,70 – 11,2)	30 (7,48 – 120)	703 (176 – 2 813)
Нефть	0,03 (0,008 – 0,12)	..	18,4 (4,6 – 73,6)	161 (40,4 – 645,6)	9 551 (2 388 – 38 204)
Биомасса	4,63 (1,16 – 18,5)	43 (10,8 – 172,6)	2 276 (569 – 9 104)
Ядерные источники	0,003	0,019	0,052	0,22	..

Данные являются результатами усреднённой оценки (95 % CI).

* Включает острые и хронические эффекты. Уровень смертности в результате хронического эффекта составляет от 88 до 99%. Для атомных электростанций учитываются случаи смерти от раковых заболеваний, включая последствия аварии и длительное воздействие.

† Включает госпитализацию по поводу респираторного или цереброваскулярного события, застойную сердечную недостаточность и хронический бронхит. Для атомных электростанций учитываются раковые заболевания без летального исхода и наследственные эффекты.

‡ Включает дни ограниченной активности, случаи использования бронхорасширяющего препарата, кашель и дни проявления симптома дыхательной недостаточности у пациентов с астмой и хронический кашель. ТВт · ч - 1 012 ватт в час

Источник: Маркандья и Вилкинсон, 2007.

Расчёт денежной компенсации за причинённый ущерб представляет собой ещё одну проблему. Основные методы, проблемные вопросы и противоречия представлены в главе 1. В разделе 5.5 настоящей главы представлена сводная таблица (5.3) оценки стоимости ущерба по четырём основным исследованиям. Как и следовало ожидать, наибольшие социальные издержки, связанные с загрязнением воздуха, приходится на угольные электростанции, которые в некоторых регионах и при определённых условиях наносят ущерб окружающей среде, превышающий 100 долларов США за МВт·ч.

5.4. Перспективы интернализации

Начиная с конца 1960-х годов регулирование выбросов загрязняющих воздух веществ на местном и региональном уровне являлось ключевым элементом экологической политики в странах-членах ОЭСР. Категории загрязняющих веществ, уровни выбросов и другие условия нормирования в разных странах разные, однако правительства всех стран решают вопросы, связанные с ними, путём применения административно-контрольных мер, концентрируя внимание непосредственно на электростанциях, для которых определяются ограничения по выбросам и стандарты по качеству окружающего воздуха. Вначале государства внедряли такие программы преимущественно из опасений разрушения экосистемы и нанесения ущерба среде обитания. Однако за последние несколько десятилетий политики стали всё больше осознавать значительные пагубные последствия загрязнения воздуха (особенно твёрдыми частицами) для здоровья населения.

Как правило, методика применения административно-контрольных мер, касающихся загрязнения воздуха на местном и региональном уровне, во многом совпадает во всех странах-членах ОЭСР. Все эти меры направлены преимущественно на ограничение выбросов различных загрязнителей, создание стандартов качества окружающего воздуха и установление требований для источников выбросов, связанных с использованием определённых технологических решений, сокращающих уровень выбросов. В США меры по борьбе с загрязнением воздуха в основном рассматриваются и разрабатываются в

рамках «Закона о чистом воздухе» (CAA), впервые принятого Конгрессом США в 1963 году, поправки к которому были внесены в 1970 и 1990 годах, что значительно расширило сферу действия этого закона. АООС США устанавливает национальные стандарты качества окружающего воздуха (NAAQS) для загрязнителей, считающихся опасными для здоровья населения и окружающей среды. «Законом о чистом воздухе» устанавливаются два типа NAAQS: первичные стандарты, направленные на защиту здоровья населения, и вторичные стандарты, направленные на защиту общественного благополучия против снижения атмосферной видимости и нанесения вреда животным, растительным культурам и зданиям.

В ЕС регулирование выбросов загрязняющих воздух веществ подкреплено «Стратегией борьбы с загрязнением воздуха» Европейской Комиссии, которая последний раз пересматривалась в 2011 году и использовалась для создания в 2013 году Пакета мероприятий в области политики чистого воздуха, в рамках которого были установлены более строгие пределы выбросов. В секторе электроэнергетики имеющая огромное влияние Директива о крупных топливосжигательных установках определяет требования для государств-участников в отношении ограничения выбросов твёрдых частиц, SO₂ и NO_x на станциях с тепловой мощностью от 50 МВт. Электростанции, неспособные соблюдать новые ограничения, были вынуждены полностью прекратить работу к концу 2015 года. Директива по качеству окружающего воздуха от 2004 года регулирует концентрации As, Cd, Hg, Ni и полициклических ароматических углеводородов, в то время как директива 2008 года направлена на нормирование концентраций SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, Pb, бензола, CO и озона O₃.

В других странах существуют аналогичные системы. Федеральный канадский закон «Об охране окружающей среды» от 1999 года по структуре аналогичен «Законоу о чистом воздухе» (CAA) в США, где установлены критерии для загрязняющих воздух веществ (SO_x, NO_x, твёрдых частиц, ЛОС, CO, NH₃ и O₃) и проанализировано воздействие тяжёлых металлов и токсичных загрязнителей. В Канаде разработаны стандарты качества окружающего воздуха для PM_{2.5} и озона, разрабатываются нормы для NO₂ и SO₂, которые, однако, не носят обязательного характера, как в США, а основываются на их добровольном применении провинциями и территориями. Инструменты экологической политики в области борьбы с загрязнением воздуха в Японии, такие как стандарты качества, меры реагирования на случаи несоблюдения норм и пределы по уровню загрязнения, также основаны на принципах регулирования (ОЭСР, 2012).

Несмотря на доминирующую роль административно-контрольного регулирования, в результате экономического анализа инструментов экологической политики была создана солидная база для выработки рыночной политики, направленной на обеспечение наиболее экономически эффективной интернализации загрязнения воздуха.

Улучшение эффективности за счёт рыночных механизмов достигается благодаря уравниванию предельных издержек на сокращение выбросов конкретного загрязнителя для всех источников. Этот показатель, в свою очередь, уравнивается с предельными социальными издержками на сокращение выбросов в соответствии с пигувианской парадигмой, которая описана в вводной главе. Такое желаемое положение вещей может быть достигнуто путём установления соответствующих налогов или посредством систем торговли квотами на выбросы, которые воспроизводят действие налогов посредством установления соответствующих ограничений. Экономические анализы схем ограничения выбросов и торговли квотами на выбросы дали довольно благоприятные в этом отношении результаты.

Самым ярким примером рыночной интернализации является Система торговли квотами на выбросы SO₂ в США. Эта схема ограничения выбросов и торговли квотами на выбросы SO₂ является единственным крупным рыночным механизмом, касающимся местных загрязнителей. Данная система была введена в 1990 году в качестве поправки к CAA. Имея целью сократить общий ежегодный уровень выбросов SO₂ примерно на 10 Мт по сравнению с 1980 годом, на первом этапе этой американской программы потребовалось сокращение выбросов 263 наиболее загрязняющими воздух угольными электростанциями, находящимися к востоку от реки Миссисипи. Второй этап заключался в установлении пределов по общему объёму выбросов на национальном уровне практически для всех электростанций США, работающих на ископаемом топливе, с тем чтобы сократить этот объём на 50 % по сравнению с показателями 1980 года. Затем, в рамках второго этапа, государство предоставило электростанциям квоты на выбросы, а электростанции могли купить эти квоты у других производителей электроэнергии или сократить уровень выбросов с тем, чтобы обеспечить выполнение квот по выбросам со штрафом в 2 000 долларов США на американскую тонну выбросов, превышающих установленные ограничения. Целевой показатель по выбросам на национальном уровне, равный 8,95 миллионам американских тонн в год, был достигнут в 2007 году. Согласно исследованию Схмалензе (*Schmalensee*) и Ставинса (*Stavins*) (2013), затраты по достижению этого показателя оказались почти на 90 % ниже затрат, которые потребовались бы в случае применения мер административно-контрольного регулирования. Переход на уголь с низким содержанием серы, добываемый в штате Вайоминг, который стал возможен за счёт дерегулирования системы железнодорожных перевозок в 1970-х годах, способствовал повышению экономической эффективности этой программы. На базе этого успешного опыта в 2003 году властями штатов также была внедрена Программа торговли квотами на выбросы NO_x, которая осуществлялась при поддержке АООС США в целях сокращения уровня выбросов NO_x в летний период.

5.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Наибольшие не подвергшиеся интернализации издержки в сфере производства электроэнергии связаны с загрязнением воздуха. По данным ВОЗ, загрязнение воздуха представляет собой главнейшую опасность для окружающей среды на глобальном уровне. В рамках исследований ВОЗ, проведённых в 2014 и 2016 годах, было определено, что в 2012 году около 3 миллионов человек умерли в результате загрязнения окружающего воздуха, основным источником которого является производство электроэнергии (ВОЗ, 2014а, 2014b и 2016). Бытовое загрязнение воздуха, причиной которого является недостаток электроэнергии, привело к увеличению количества смертей ещё на 4,3 миллиона. Примерно половина объёма этого загрязнения связана с загрязнением атмосферного воздуха. Это соотносимо с приблизительными убытками в плане благосостояния в странах-членах ОЭСР, превышающими один триллион долларов США, что составляет около 3 % ВВП (ОЭСР, 2014).

На продолжении более 40 лет затраты, связанные с загрязнением воздуха, широко изучаются и анализируются с применением хорошо распространённых методов. Несмотря на по-прежнему большой уровень неопределённости в отношении воздействий и их денежного выражения, на сегодняшний день методология чётко очерчена и существуют серии обоснованных значений. Осознание необходимости проведения исследований в отношении полных или внешних издержек в области производства электроэнергии сверх производственных затрат на уровне электростанции, было продиктовано обеспокоенностью вопросами внешних издержек, связанных с загрязнением воздуха. Несмотря на то, что тем временем риски, связанные с изменениями климата, приобрели аналогичный уровень важности, затраты, связанные с загрязнением воздуха, остаются самым приоритетным вопросом в рамках планирования и регулирования устойчивых систем электроснабжения.

Наиболее детально изученными источниками загрязнения воздуха являются твёрдые частицы различных размеров, приземный озон O_3 , SO_x , NO_x и свинец. Такие выбросы имеют место при сжигании ископаемого топлива (угля, нефти, газа или биомассы) и воздействуют преимущественно на дыхательную систему, становясь причиной ухудшения здоровья (заболеваемости) или преждевременной смерти (смертности). Экономическая наука в течение долгого времени пыталась дать денежное выражение этих воздействий путём оценки предельной готовности отдельных лиц платить за незначительные изменения вероятности наступления смертельного риска, на основании которого может производиться оценка статистической жизни. Методики денежного выражения ущерба от заболеваемости также существуют, но являются менее устоявшимися. В обоих случаях уровень неопределённости остаётся значительным.

В некоторых случаях такие отличия объясняются объективными факторами, такими как местоположение, плотность населения, а также скорость и направление ветра. В иных случаях они имеют место по причине различия применяемых методов или разных оценок уровня статистической жизни. В 2012 году в своем мета-исследовании Бертрау и др. (2012) представили результаты четырёх самых значимых исследований, проведённых за последние 20 лет (см. табл. 5.3).

Таблица 5.3: **Сводка оценок четырёх исследований внешних издержек**
(в миллях* на КВт·ч или в долларах США на МВт·ч)

	Уголь	Торф	Нефть	Газ	Атомная энергия	Биомасса	Гидро-энергия	ФЭ энергия	Ветровая энергия
ORNL/RFF	2,3	–	0,35-2,11	0,35	0,53	3	–	–	–
Rowe et al.	1,3-4,1	–	2,2	0,33	0,18	4,8	–	–	0,02
ExternE, EK	27-202	27-67	40,3-148	13,4-53,8	3,4-9,4	0-67	0-13	8,1	0-3,4
CNR	2-126	–	–	0,01-5,78	–	–	–	–	–

* Миль – одна десятая цента или одна тысячная доллара; ФЭ – фотоэлектрический

Источник: Бертрау и др., 2012

На основании результатов этих исследований был определён порядок величины ущерба от различных загрязняющих воздух веществ, а также определены издержки, связанные с загрязнением воздуха основными источниками производства электроэнергии. С точки зрения загрязнения воздуха источники электроэнергии можно с уверенностью разделить на две группы: 1) угольные источники электроэнергии, включая ископаемое топливо и энергетическое сырьё из биомассы, где угольные электростанции являются наибольшим источником негативного воздействия по сравнению с электростанциями, использующими природный газ, нефть или энергетическое сырьё из биомассы; 2) источники, влияющие на загрязнение воздуха, из числа низкоуглеродных (атомная, ветровая и солнечная энергия, гидроэнергия, геотермальная энергия и энергия волн), имеющие незначительное или

нулевое воздействие, несмотря на возможность появления косвенных выбросов на этапе производства. Однако такие косвенные воздействия зависят от структуры генерирующих мощностей существующей системы электроснабжения, а не конкретной технологии производства. На стадии генерации электроэнергии в рамках ядерного топливного цикла единственными загрязняющими выбросами на местном уровне являются незначительные выбросы радионуклидов в процессе эксплуатации. Влияние на радиационный фон в результате таких технологических выбросов практически незаметно в количественных показателях, поэтому радиологические риски, которые могли бы быть вызваны такими выбросами (раковые заболевания с летальным исходом или без него, генетические эффекты и т. д.) в количественном выражении также будут очень низкими (АЯЭ, 2016).

Фактически, генерация электроэнергии при использовании угля является источником выбросов радиации, в 100 раз превышающих выбросы при производстве атомной энергии в пересчёте на МВт·ч по причине выбросов золы пыли. Ситуация усугубляется большими объёмами выбросов твёрдых частиц, SO₂, NO_x и токсичных металлов, которые характерны для всех угольных источников и приводят к значительным негативным последствиям для здоровья населения и качества экосистем. При сравнении с угольными источниками, уровень загрязняющих атмосферу выбросов при генерации электроэнергии атомными электростанциями является незначительным. Однако в течение жизненного цикла атомных электростанций на начальных этапах имеют место выбросы радона и радиоактивной пыли. Такие атмосферные выбросы производятся во время добычи урана, в ходе которой наибольшему риску подвергается персонал. Бертрау и др. делают полезный вывод из собственного исследования:

В целом, результаты, приведённые в табл. 1 [здесь табл. 5.3] и научных изданиях, подтверждают установленный порядок классификации ископаемых видов топлива, в котором жизненный цикл угольного топлива создаёт больше негативных последствий, чем жизненный цикл нефтяного топлива, который, в свою очередь, наносит больший ущерб, чем жизненный цикл природного газа. Эта разница будет ещё более отчётливо видна с точки зрения воздействия на изменение климата. По имеющимся оценкам, если не принимать в расчёт изменение климата, ущерб, причиняемый жизненным циклом энергетического сырья из биомассы аналогичен ущербу, причиняемому жизненным циклом угольного или нефтяного топлива... Ядерный топливный цикл в целом характеризуется более низкими внешними издержками, однако отдалённая вероятность аварий значимым образом увеличивает фактор последствий при оценке. Как правило, на стадии эксплуатации фотоэлектрической и ветровой энергии выбросов не образуется, однако на определённых этапах жизненного цикла эти источники всё же наносят определённый ущерб. (Бертрау и др., 2012: с. 13-14)

В табл. ES.2 не учтены последствия изменения климата. Поскольку при сгорании ископаемое топливо является основным источником как выбросов парниковых газов, так и местного и регионального загрязнения воздуха, между этими двумя аспектами существует очевидная взаимосвязь. В то время как меры, направленные на уменьшение последствий загрязнения воздуха, *могут* сократить уровень выбросов парниковых газов, даже если и не обязательно приводят к этому, сокращение объёма выбросов парниковых газов всегда способствует снижению уровня загрязнения воздуха.

Список литературы

- Amann, M., Z. Klimont and F. Wagner (2013), "Regional and global emissions of air pollutants: Recent trends and future scenarios", *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 38, pp. 31-55.
- Arrow, K., R. Solow, P. Portney, E. Leamer, R. Radner and H. Schuman (1993), *Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation*, 11 January, Washington, DC.
- Arvesen, A. and E. Hertwich (2012), "Assessing the life cycle environment impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16/8, pp. 5994-6006.
- Brauer, M. et al. (2012), "Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution", *Environmental Science and Technology*, Vol. 46, American Chemical Society, pp. 652-660.
- Burtraw, D., A. Krupnick and G. Sampson (2012), "The True Cost of Electric Power: An Inventory of Methodologies to Support Future Decision making in Comparing the Cost and Competitiveness of Electricity Generation Technologies", *Resources for the Future*, Washington, DC, www.rff.org/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick%20TrueCosts.pdf.

- Caiazza, F., A. Ashok, I. Waitz, S. Yim and S. Barrett (2013), "Air pollution and early deaths in the United States. Part I: Quantifying the impact of major sectors in 2005", *Elsevier, Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 198-208.
- Cameron, T. (2010), "Euthanizing the value of a statistical life", Oxford University Press, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 4/2, pp. 161-178.
- Diamond, P. and J. Hausman (1994), "Contingent valuation: Is some number better than no number?", American Economic Association, *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8(4), pp. 45-64.
- Dones, R., T. Heck, M.F. Emmenegger and N. Jungbluth (2005), "Life cycle inventories for the nuclear and natural gas energy systems and examples of uncertainty analysis", *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 10/1, pp. 10-23.
- EC (2008a), *Life Cycle Approaches to Assess Emerging Energy Technologies: Final Report on Offshore Wind Technology*, NEEDS, EC, Brussels.
- EC (2008b), *Final Report on Technical Data, Costs, and Life Cycle Inventories of Solar Thermal Power Plants*, NEEDS, EC, Brussels.
- EC (2007), *Environmental, Economic and Social Criteria and Indicators for Sustainability Assessment of Energy Technologies*, NEEDS, EC, Brussels.
- EC (2005a), *ExternE: Externalities of Energy: Methodology 2005 Update*, EC, Brussels.
- EC (2005b), *Final Report on Technical Data, Costs and Life Cycle Inventories of PV Applications*, NEEDS, EC, Brussels.
- EC (1995), *ExternE: Externalities of Energy*, Vol. 1-6, EC, Brussels.
- EEA (2014a), *Air Quality in Europe - 2014 Report*, EEA, Copenhagen.
- EEA (2014b), *Costs of Air Pollution from European Industrial Facilities 2008-2012*, EEA, Copenhagen.
- E-PRTR (n.d.), European Pollutant Release and Transfer Register (web page), <http://prtr.ec.europa.eu/#/home>.
- EPA (2014), 2011 National Emissions Inventory, version 1: Technical Support Document draft, EPA Emissions Inventory and Analysis Group, Research Triangle Park, North Carolina, www.epa.gov/ttn/chief/net/2011inventory.html.
- EPA (2012), *2012 Progress Report: Environmental and Health Results*, EPA, Washington, DC.
- Fthenakis, V., H. Kim, R. Frischknecht, M. Raugei, P. Sinha and M. Stucki (2011), "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems", IEA, OECD, Paris.
- Fthenakis, V., H. Kim and E. Alsema (2008), "Emissions from photovoltaic cycles", American Chemical Society, *Environmental Science and Technology*, Vol. 42/6, pp. 2168-2174.
- Goldstein, B., G. Hiriart, R. Bertani, C. Bromley, L. Gutierrez-Negrin, E. Huenges, H. Muraoka, A. Ragnarsson, J. Tester and V. Zui (2011), "Geothermal energy", in *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change*, IPCC, Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 401-433.
- Goulder, L. and I. Parry (2008), "Instrument choice in environmental policy", Oxford University Press, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 2/2, pp. 152-174.
- Hagler Bailly Consulting (1995), *The New York State Externalities Cost Study*, Dobbs Ferry: Oceana Publications.
- Hubbel, B. (2002), *Implementing QALYs in the Analysis of Air Pollution Regulations*, USEPA, Washington, DC.
- IEA (2016a), *Energy and Air Pollution: World Energy Outlook Special Report*, OECD, Paris.

- IEA (2016b), *World Energy Outlook 2016*, OECD, Paris.
- IEA (2014a), *Energy, Climate Change and Environment*, International Energy Agency, OECD, Paris.
- IEA (2014b), *Key World Energy Statistics*, OECD, Paris.
- IEA (2014c), *Electricity Information*, OECD, Paris.
- Keohane, N. and S. Olmstead (2007), "The case for market-based instruments in the real world", Island Press, *Markets and the Environment*, pp. 153-181.
- Kharecha, P. and J. Hansen (2013), "Prevented Mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power", *American Chemical Society, Environmental Science and Technology*, Vol. 47, pp. 4889-4895.
- Lim, S. et al. (2012), "A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010", *Elsevier, Eds., The Lancet*, Vol. 380, pp. 2224-2260.
- Markandya, A. and P. Wilkinson (2007), "Electricity generation and health", Elsevier Eds., *The Lancet*, Vol. 370, pp. 979-990, Table 2, p. 981, www.sciencedirect.com/science/journal/01406736/370/9591?sdc=1.
- Masanet, E., Y. Chang, A. Gopal, P. Larsen, W. Morrow, R. Sathre, A. Shehabi and P. Zhai (2013), "Life-cycle assessment of electric power systems", *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 38, pp. 107-136, Table 3, p. 120, www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-environ-010710-100408#article-denial.
- McBride, J.P., R.E. Moore, J.P. Witherspoon and R.E. Blanco (1978), "Radiological impact of airborne effluents of coal and nuclear plants", *Science*, Vol. 202, pp. 1045-1050.
- NEA (2016), *Radiological Protection Science and Application*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/rp/pubs/2016/7265-rp-science-application.pdf.
- NRC (2010), *The Hidden Costs of Energy*, NRC of the National Academies of Science, Washington, DC.
- OECD (2016), *The Economic Costs of Outdoor Air Pollution*, OECD, Paris.
- OECD (2014), *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, OECD, Paris.
- OECD (2012), *Mortality Risk Evaluation in Environment, Health and Transport Policies*, OECD, Paris.
- OECD (2010), *Environmental Performance Reviews: Japan 2010*, OECD, Paris.
- ORNL and RFF (1992-8), *External Costs and Benefits of Fuel Cycles: A Study by the US Department of Energy and the Commission of the European Communities*, Reports 1, 2, 6, 7 and 8, ORNL and RFF, Tennessee and Washington, DC.
- REN21 (2014), *Renewables 2014: Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, Paris.
- Ribeiro, F. and G. da Silva (2010), "Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study", Elsevier, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, pp. 44-54.
- Rowe, R.D., C.M. Lang, L.G. Chestnut, D.A. Latimer, D.A. Rae, S.M. Bernow, and D.E. White. (1995), *New York State Environmental Externalities Cost Study*, Empire State Electric Energy, Oceana, New York.
- Schmalensee, R. and R. Stavins (2013), "The SO₂ allowance trading system: The ironic history of a grand policy experiment", *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 27/1, pp. 103-122.
- Stavins, R. (2011), "The problem of the commons: still unsettled after 100 years", *American Economic Review*,

Vol. 101, pp. 81-108.

UNSCEAR (2016), *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations, New York, www.unscear.org/unscear/en/publications/2016.html.

WHO/OECD (2015), *Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe: Clean Air, Health and Wealth*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO (2014a), *7 Million Premature Deaths Annually Linked to Air Pollution*, WHO, Geneva, www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en.

WHO (2014b), *Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012*, Summary of results, WHO, Geneva, www.who.int/phe/health_topics/outdoorair.

WHO (2014c), *Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012 Description of Method*, WHO, Geneva, www.who.int/phe/health_topics/outdoorair.

WHO (2016), *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, WHO, Geneva, www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en.

Yim, S.H.L. and S.R.H. Barrett (2012), "Public health impacts of combustion emissions in the United Kingdom", American Chemical Society, *Environmental Science and Technology*, Vol. 46, pp. 4291-4296.

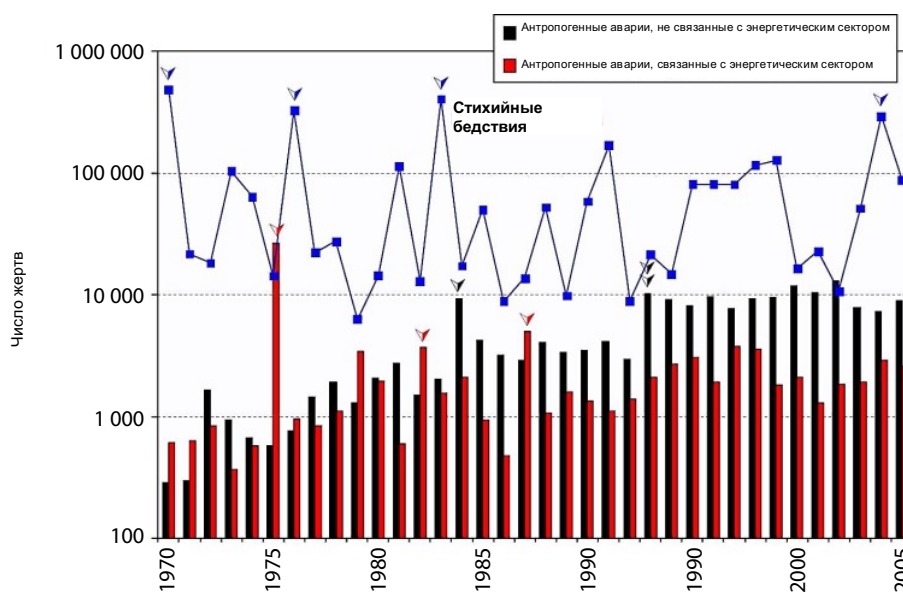


Глава 6. Издержки, связанные с крупными авариями

6.1. Введение

В последние десятилетия отмечался постоянный рост уровня ущерба в результате стихийных бедствий и антропогенных аварий. Многие факторы способствовали данной тенденции и повысили уровень уязвимости населения перед лицом опасности возникновения аварий и бедствий: рост населения и мировой экономики, индустриализация, урбанизация и развитие прибрежных и других районов повышенной опасности, а также развитие более сложных и взаимосвязанных инфраструктур.¹ Наибольший ущерб в плане человеческих жертв и экономических последствий причиняют стихийные бедствия. Как показано на рис. 6.1, стихийные бедствия явились причиной 90 % общего числа смертельных случаев, которое на глобальном уровне составило 3,4 миллиона человек в период с 1969 по 2005 год, тогда как оставшиеся 10 % приходятся на антропогенные аварии (Бургхер и др. (*Burgherr et al*), 2008с). Если рассматривать только антропогенные аварии, около 60 % всех смертельных случаев приходится на долю транспортного сектора, за которым по числу смертей следует энергетический сектор (ExternE, 1995).

Рисунок 6.1: Число жертв в результате стихийных бедствий и антропогенных аварий



Источник: Бургхер и др., 2008с.

1. Возможно, данная тенденция также связана с улучшением отчетности.

Несмотря на то, что уровень внешних издержек, связанных с тяжёлыми авариями, значительно ниже уровня других внешних эффектов, связанных с генерацией электроэнергии (таких как загрязнение воздуха, углеродсодержащие выбросы или системными эффектами), тяжёлые аварии в энергетическом секторе могут привести к катастрофическим глобальным последствиям для благополучия населения и состояния экономики в современном обществе. Антропогенные аварии и стихийные бедствия оказывают прямое воздействие на здоровье населения (несчастные случаи с мгновенным или последующим смертельным исходом, травмы и заболевания), имущество и состояние экономики, а также сопряжены с долгосрочными последствиями для окружающей среды и экосистем (например, такими, как утечка углеводородов или выброс радиоактивных веществ). Помимо таких прямых воздействий, тяжёлые аварии также могут иметь серьёзные негативные последствия для надёжности энергообеспечения или глобальной цепочки поставок товаров и услуг. В результате Проекта исследований внешних эффектов новых видов энергетики в рамках устойчивого развития (NEEDS) было установлено, что тяжёлые аварии в энергетических цепочках могут влиять на определённые критерии и параметры устойчивости (Хиршберг и др. (*Hirschberg et al.*), 2008).

В последние годы наблюдается повышенный интерес, а также потребность в получении точных данных и проведении анализа последствий и рисков потенциальных тяжёлых аварий в энергетическом секторе со стороны политиков, государственных органов, различных заинтересованных групп, таких как промышленные, страховые и перестраховочные компании, а также со стороны общественности. Недавние бедствия в энергетическом секторе, такие как разлив нефти на буровой платформе *Deerwater Horizon* в Мексиканском заливе, авария на атомной электростанции Фукусима-1, несколько аварий на нефте- и газопроводах в европейских и африканских странах, а также аварии на угольных шахтах в Китае, широко освещались в средствах массовой информации и широко обсуждались как в пределах энергетического сообщества, так и среди простого населения.

Однако, несмотря на растущий интерес общественности и важность этого вопроса, имеющаяся общедоступная информация о последних авариях в энергетическом секторе и о потенциальных последствиях аварий в данном секторе является отрывочной и неполной в большинстве случаев и, за некоторыми исключениями, не позволяет провести сравнение различных энергетических технологий.

6.2. Методологические вопросы, трудности количественной оценки и неопределённость

Проведение комплексного анализа рисков аварий в энергетическом секторе сопряжено с определёнными концептуальными, техническими и практическими трудностями. Широкий ряд технологий, используемых при производстве электроэнергии, разный уровень их технологической зрелости и коммерческого внедрения, а также существенно отличающиеся типы риска среди технологий и целый ряд потенциальных последствий значительным образом усложняют процесс проведения анализа и прямого сравнения рисков, связанных с возникновением аварий.

Теоретически, данные, необходимые для оценки частоты и последствий аварий для различных энергетических технологий, могли бы быть получены в результате статистического анализа прошлых аварий. Такой подход вполне применим для анализа определённых технологий, однако он сопряжён с некоторыми практическими трудностями, которые более детально описаны ниже. Так, например, обширные исторические данные о тяжёлых авариях в производственной цепочке ископаемого топлива (по крайней мере, для стран, не являющихся членами ОЭСР), в секторе гидроэнергетики являются надёжной аналитической основой для проведения количественной оценки рисков аварии и достоверного определения потенциальных последствий. С другой стороны, данный подход имеет некоторые недостатки при его применении к энергетическим технологиям, исторические данные по которым устарели или слишком ограничены, а значит, являются недостаточными для формулирования достаточно надёжных количественных выводов. Это, в частности, относится к сектору атомной энергетики, который насчитывает только три крупные аварии в мире, к сектору гидроэнергетики (по крайней мере, в странах-членах ОЭСР), где число недавних аварий ограничено, а также к некоторым технологиям на основе возобновляемых источников энергии, которые являются достаточно новыми и ещё не широко распространёнными. Для таких технологий исторические данные должны быть подкреплены мнением экспертов и/или количественным анализом смоделированных аварийных событий. Вероятностный анализ безопасности атомных электростанций уровня III позволяет получить информацию о вероятности возникновения и последствиях потенциальных аварий.

При обработке исторических данных также возникают определённые проблемы, касающиеся временного периода, используемого для выполнения статистической оценки аварийных событий, и уровня географического агрегирования результатов. Что касается временного аспекта, следует отметить, что технологии постоянно совершенствуются, обеспечивая более высокий уровень безопасности всех установок в энергетическом секторе. Во всем мире на замену менее совершенным в техническом отношении электростанциям приходят более современные и безопасные. Существенное улучшение стандартов и культуры безопасности также способствовало снижению количества аварий во всех странах с развитой или развивающейся экономикой. Исходя из этого, данные о прошлых авариях не могут далее применяться в отношении объектов и политик их эксплуатации, существующих на сегодняшний день. Также возникают трудности концептуального характера, которые связаны с тем, что эксплуатационный срок службы (и, как следствие, средний жизненный цикл) электростанций и других объектов энергетического сектора значительно отличается для разных энергетических технологий. Срок эксплуатации современной атомной электростанции превышает 60 лет (в случае гидроэлектростанции этот срок может быть даже больше), тогда как ожидаемый срок эксплуатации для других объектов энергетической инфраструктуры значительно короче (например, ожидаемый срок службы фотоэлектрической солнечной панели, ветрогенератора или газовой электростанции составляет менее 30 лет из-за технических ограничений или ожидаемого улучшения характеристик эффективности в будущем). Таким образом, процесс выбора соответствующего временного периода из базы данных произошедших в прошлом аварий является субъективным и привязанным к конкретным технологиям. Выбираемый отрезок времени должен быть достаточно длинным для того, чтобы предоставить статистически значимое количество входных данных, и при этом содержать информацию о существующих объектах инфраструктуры с точки зрения технологического развития и безопасности, а также регулирующих стандартов.

Что касается географической составляющей, детальный анализ истории аварий свидетельствует о том, что уровни аварийности и смертности неоднородны в разных странах мира и характеризуются тем, что уровни технологического развития, нормативная база и культура безопасности отличаются в каждой стране. Таким образом, требуется определить адекватный уровень агрегирования данных результатов для отображения таких различий. Так, например, исследователь Института Пауля Шеррера (PSI, Швейцария) распределили результаты по трём основным группам – государства-участники Европейского Союза (27), страны-члены ОЭСР и страны, не являющиеся членами ОЭСР¹, последняя из которых разбивается дополнительно для отображения конкретных ситуаций, связанных с определёнными энергетическими технологиями (например, данные по угольным электростанциям Китая указываются отдельно, поскольку их количество намного выше, чем в других странах). В литературных источниках используются также и другие подходы в отношении выбора временного отрезка и географической сегментации. Сравнительный анализ (Фельдер (*Felder*), 2009) двух масштабных исследований в области крупных аварий, проведённых PSI и Совакулом (*Sovacool*) (2008) и Хиршбергом и др. (1998), показал, что в них использовался разный уровень агрегирования, как с точки зрения временного распределения, так и с точки зрения рассматриваемых стран.

Прежде чем переходить к количественной оценке последствий тяжёлых аварий в энергетическом секторе, будет нелишним рассмотреть другие практические аспекты, представляющие сложность для данного анализа. Первая сложность связана с типом аварий, которые должны быть включены в анализ. В идеале, оценка рисков должна выполняться для всех аварий, независимо от уровня их тяжести. Однако такой подход не может быть осуществлён на практике, поскольку подготовка и ведение полной, достоверной и постоянно обновляемой базы данных по всем авариям энергетического сектора в масштабах мира является ресурсоёмкой и практически невыполнимой задачей. Кроме того, исследователи из PSI отмечают, что относительно небольшое количество крупных аварий фиксируется более подробно, в отличие от чаще встречающихся мелких аварий с незначительными последствиями. Также при оформлении отчётности отсутствуют другие важные показатели помимо информации о количестве жертв, что делает такую отчётность ещё менее полной, чем в случае тяжёлых аварий. Исследователи PSI пришли к выводу, что мелкие аварии фактически недостаточно представлены в доступных базах данных по причине недостаточной отчётности. Это может также иметь значительное влияние на общие результаты, поскольку не вызывает сомнения тот факт, что уровень совокупных издержек на устранение последствий мелких аварий для определённых технологий может быть достаточно высокими и иметь немаловажное значение с точки зрения смертности (Бургхер и Хиршберг,

1. Первые две группы стран частично совпадают. Выбор, сделанный PSI, может также указывать на необходимость получения результатов только в масштабах Европы, поскольку большая часть работы проводилась именно в рамках стран ЕС.

2008a и 2008b). С другой стороны, тяжёлые аварии всегда вызывают споры в обществе и обязательно учитываются при рассмотрении энергетической политики. Кроме того, степень интернализации ущерба в большей вероятностью будет значительно ниже, чем в случае менее крупных аварий. Именно поэтому в данной главе авторы уделяют особое внимание тяжёлым авариям,² игнорируя большую часть аварий с менее значительными последствиями. Несмотря на то, что фокусирование анализа именно на тяжёлых авариях является единственным практически применимым способом оценки, не стоит забывать того, что такой подход представляет собой один из факторов, которые в целом способствуют недооценке последствий аварий и уровня связанных с ними экономических затрат.

Кроме того, исторический опыт показывает, что анализ и оценка аварий и рисков, связанных с энергетическим сектором, требует рассмотрения энергетических цепочек в их полном объёме, поскольку аварии возникают не только на стадии генерации электроэнергии, но и на каждом этапе энергетической цепочки: при разведке, добыче, переработке, транспортировке, генерации электроэнергии, распределении, хранении, а также при утилизации и захоронении отходов. Так, например, в производственных цепочках ископаемого топлива большой риск возникновения тяжёлой аварии отмечается именно на ранних этапах. В случае гидроэнергетики или атомной электроэнергетики соответствующие риски преимущественно сконцентрированы именно на уровне электростанций. Таким образом, ограничение анализа исключительно этапом выработки электроэнергии приведёт к значительному занижению некоторых результатов и необъективному сравнению технологий.

В контексте данного анализа необходимо также рассмотреть два других методологических вопроса: как рассматривать импорт/экспорт первичных источников в разных странах и как учитывать разные уровни интернализации в отношении издержек, связанных с авариями. Эти уровни в разных странах разительно отличаются (в целом, более развитые страны обеспечивают более эффективную интернализацию издержек для разных энергетических технологий). Например, авария на угольной шахте главным образом ограничивается самой шахтой, т. е. большинство жертв приходится на работников шахты, в связи с чем экономический ущерб практически исключительно ограничивается самим объектом. Таким образом, происходит полная или частичная интернализация большей части издержек, связанных с аварией. В то время как авария на гидроэлектростанции или атомной электростанции (АЭС) может иметь более масштабные последствия и с большей вероятностью затронет жителей близлежащих районов, при этом воздействие на самих работников электростанции будет значительно ограниченным. Аналогично, экономические последствия в пределах самой электростанции составляют лишь малую часть от общего объёма воздействий. Следовательно, степень интернализации экономических последствий в таких энергетических цепочках ограничена более значимым образом. Очень важно разграничивать производственные последствия и последствия для населения, так как уровень интернализации последствий значительно отличается для этих двух групп и, как следствие, влияет на переход ущерба в категорию внешних издержек.

Некоторые энергетические технологии характеризуются значительными торговыми потоками первичных топливных ресурсов между странами-членами ОЭСР и странами, не являющимися членами ОЭСР. Так, например, страны-члены ОЭСР импортируют из стран, не являющихся членами ОЭСР, большой объём сырой нефти и меньший объём природного газа, тогда как объём импортируемого/экспортируемого угля ничтожно мал. Перераспределение издержек на возмещение ущерба, возникающего на этапах добычи и транспортировки в энергетической цепочке, между странами-членами ОЭСР и странами, не являющимися членами ОЭСР, сопряжено с определёнными методологическими трудностями. В рамках некоторых исследований (Хиршберг и др., 1998) была разработана методология перераспределения последствий аварий, возникающих в экспортирующей стране, с учётом чистого объёма обмениваемых ресурсов, а также проведён сравнительный анализ расчётов без учёта перераспределения. Результаты данного сравнительного анализа также представлены в работе Фридриха (*Friedrich*) (2004a). Однако, в целях упрощения, процедура анализа и его результаты продемонстрированы в настоящей главе без учёта перераспределения последствий аварий.

Наконец, ещё одна трудность заключается в оценке потенциальных воздействий, экономических последствий и рисков тяжёлых аварий в секторе атомной энергетики. Это объясняется спецификой ядерных аварий с точки зрения временной шкалы потенциальных последствий и отсутствием чёткой причинно-следственной связи между долгосрочными последствиями и самой аварией. В отличие

2. Формальное определение термина «тяжёлая авария» приведено в разделе 6.3.

от аварий в других энергетических цепочках, где большая часть экономического ущерба и последствий для здоровья являются мгновенными, а воздействия ограничиваются чётко определённой зоной, последствия ядерной аварии могут длиться в течение нескольких лет и даже десятилетий, затрагивая большой регион за пределами зоны радиоактивного загрязнения и оказывая значительное косвенное и индуцированное воздействие на экономику³. При этом необходимо отметить, что меры и решения, принимаемые государственными органами и органами, ответственными за безопасность, после события, имеют важное значение для последствий таких аварий в целом. Все эти особенности лишь усугубляют неопределённость и субъективность при оценке экономических воздействий для произошедших и потенциальных аварий в цепочке атомной энергии.

Что касается последствий для здоровья пострадавшего населения, в большинстве последних исследований отмечается невысокая степень вероятности возникновения тяжёлой ядерной аварии на современных электростанциях, которая привела бы к мгновенной смерти или неизбежному негативному воздействию на здоровье населения. Все или огромная часть таких последствий для здоровья предположительно будет проявляться через несколько лет после воздействия и, в худшем случае, приведёт к (небольшому) увеличению уровня заболеваемости раком среди пострадавшего населения. Случаи заболевания раком в результате облучения не могут быть явно отличимы от других патологий, не связанных с облучением, поэтому рост уровня заболеваемости не будет чётко выделяться на фоне обычных для населения уровней смертности и заболеваемости. Кроме того, при незначительных индивидуальных дозах облучения результаты оценки роста уровня заболеваемости и смертности у пострадавшего населения будут крайне неопределёнными. Факторы неопределённости включают, среди прочего, недостаточное научное понимание радиологических рисков при малых дозах облучения (в частности, того, что диапазон рисков, связанных с малыми дозами облучения, достаточно широк и включает значения, равные нулю). Этим также объясняется расхождение в оценках будущих жертв чернобыльской аварии, которые часто отличаются на более чем один порядок величины. Кроме того, при анализе гипотетических аварий важное значение для расчёта общей дозы облучения, которому подвергается население, имеет эффективность принятия мер для снижения уровня радиационного облучения, что усугубляет неопределённость в случае априорной оценки (например, эффективная эвакуация позволила минимизировать коллективную дозу облучения после аварии на АЭС Фукусима-1 по сравнению с аварией в Чернобыле). Несмотря на то, что радиологические воздействия, как правило, характеризуются лейкемией и другими раковыми заболеваниями, в последнее время особое внимание также уделяется психологическим последствиям, непосредственно или косвенно связанным с аварией, а также с мерами, принятыми для обеспечения радиологической защиты.

В ещё большей степени оценка экономических последствий ядерной аварии содержит много спорных аспектов и в значительной мере зависит от субъективных предположений, касающихся видов потерь, включённых в анализ, способности экономики противостоять конкретному событию, а также действий властей и населения после аварии. При рассмотрении таких воздействий и последствий имеет место субъективный компонент, касающийся определения объёма и пределов анализа. Как следствие, результаты существующих исследований экономических воздействий ядерного события, а тем более рисков такого события, могут расходиться на несколько порядков.

6.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественная оценка

Несмотря на существенное воздействие тяжёлых аварий на современное общество, а также растущий уровень осведомлённости общественности в этом вопросе, было предпринято не так уж много попыток систематической классификации, анализа и сравнения аварии в энергетическом секторе. Большинство опубликованных работ и количественных анализов в этой области в течение последнего десятилетия проводились Институтом Пауля Шеррера. В частности, PSI был основным участником при проведении сравнительного анализа внешних воздействий, связанных с тяжёлыми авариями, который проводился в рамках европейских проектов NEEDS, New Ext и SECURE, и на сегодняшний день является наиболее всеобъемлющей и целенаправленной попыткой охарактеризовать и дать оценку внешних эффектов в энергетическом секторе. Информация в данном разделе главным образом опирается на

3. Следует отметить, что крупные аварии вне сектора атомной энергетики, такие как аварии на нефтеперерабатывающих предприятиях, могут стать причиной роста уровня заболеваемости раком в результате выброса загрязняющих химических элементов с длительным латентным периодом.

результаты, опубликованные в этих основных исследованиях, а также на результаты более поздних научных исследований PSI, основное внимание в которых уделяется оценке риска террористических атак для крупных энергетических инфраструктур. При этом также рассматриваются данные из других исследований, которые, если это возможно, учитываются при выполнении окончательной количественной оценки.

База данных и методология ENSAD

В начале 1990-х PSI была начата исследовательская деятельность по сбору, проверке и интегрированию информации о тяжёлых авариях путём создания базы ENSAD (база данных о тяжёлых авариях в энергетическом секторе). Для обеспечения более высокого качества и полноты данных в ENSAD преимущественно собраны данные об антропогенных тяжёлых авариях. При этом в базу данных также включены данные о стихийных бедствиях, авариях, не связанных с энергетическим сектором, а также о менее тяжёлых антропогенных авариях, которые, однако, характеризуются более низкой степенью полноты. Поскольку в то время в литературных источниках не существовало общепризнанного определения «тяжёлой аварии», PSI считает тяжёлыми такие аварии, которые характеризуются хотя бы одним из следующих последствий:

- по меньшей мере 5 смертельных случаев;
- по меньшей мере 10 случаев получения травм;
- по меньшей мере 200 эвакуированных человек;
- широкий запрет употребления продуктов питания;
- выбросы углеводородов, превышающие 10 000 метрических тонн;
- вынужденная очистка земель и вод в радиусе не менее 25 км²;
- экономические потери в размере не менее 5 миллионов долларов США (по валютной ставке 2000 года).

С момента её создания ENSAD постоянно обновляется путём интеграции нескольких баз данных и информационных ресурсов, а также расширения её географического охвата. На сегодняшний день эта база считается наиболее полным и достоверным источником информации об антропогенных тяжёлых авариях в энергетическом секторе. Всего в ENSAD собрана информация о 32 000 аварийных событиях, 83 % которых классифицированы как антропогенные и 16 % – как стихийные бедствия, а оставшиеся – как конфликты. Среди антропогенных аварий более 20 000 связаны с энергетическим сектором. В последнее время внимание также уделяется уязвимости энергетических цепочек, связанной с намеренными человеческими действиями, такими как вандализм, саботаж и террористическая угроза (Бургхер и др., 2011; Хиршберг и др., 2016).

Если не указано иное, результаты, представленные в настоящем документе, охватывают почти четыре десятилетия исторического опыта в мировом масштабе за период с 1970 по 2007 год⁴. Это достаточно большой отрезок времени для создания базы обоснованных статистических данных без необходимости использования устаревшей информации, которая может более не отображать фактического уровня технологий или состояния текущих стандартов качества, которые имеются сегодня в каждой энергетической цепочке. ENSAD содержит данные по отдельным странам, однако все результаты объединены в три основные группы⁵ (страны-члены ОЭСР, страны, не являющиеся членами ОЭСР, и государства-члены ЕС (27)) для наглядного отображения отличий в технологическом развитии, управлении, нормативной базе и культуре безопасности между странами с высокоразвитой и развивающейся экономикой. В табл. 6.1 представлен обзор числа тяжёлых аварий и связанных с ними смертельных случаев для разных энергетических цепочек для определённых макрорегионов.

Тогда как в ENSAD представлена достаточно полная информация в отношении аварий, связанных с цепочками ископаемого топлива (как для стран-членов ОЭСР, так и для стран, не являющихся членами

4. Данный период времени соответствует периоду, учтенному в последней консолидированной версии базы данных, существовавшей на момент окончания проекта SECURE. Обновлённые данные по цепочке ископаемого топлива доступны до 2014 года и на данный момент проходят процесс окончательной проверки и валидации.

5. Для некоторых конкретных энергетических цепочек агрегация проводится также на более узком уровне.

ОЭСР), а также в отношении аварий в секторе гидроэнергетики в странах, не являющихся членами ОЭСР, доступные данные в отношении других энергетических цепочек и, в частности, касающихся новых возобновляемых источников, более ограничены. В последнем анализе PSI эмпирические данные для гидроэнергетики и атомной энергетики были дополнены данными моделирования последствий гипотетических тяжёлых аварий на конкретных объектах. Для новых возобновляемых источников энергии имеющиеся данные по авариям совмещены с результатами моделирования по отдельным цепочками и с оценками экспертов.

Таблица 6.1: **Данные по авариям с пятью смертельными случаями из ENSAD**
(1970-2008 гг.)

Энергетическая цепочка	Страны-члены ОЭСР		Государства-члены ЕС (27)		Страны, не являющиеся членами ОЭСР	
	Аварии	Смертельные случаи	Аварии	Смертельные случаи	Аварии	Смертельные случаи
Угольные электростанции	87	2 259	45	989	2 394 ^a 162 818 1 214	38 672 5 788 11 302 15 750
Нефтяные электростанции	187	3 495	65	1 243	358	19 516
Электростанции, использующие природный газ	109	1 258	37	367	78	1 556
Электростанции, использующие сжиженный нефтяной газ	58	1 856	22	571	70	2 789
Гидроэлектростанции	1	14	1	116	9 ^b 12	3 961 26 108
Атомные электростанции	–	–	–	–	1	31 ^c
Электростанции на биотопливе	–	–	–	–	–	–
Электростанции, использующие биогаз	–	–	–	–	2	18
Геотермальные электростанции	–	–	–	–	1	21
Ветряные электростанции ^d	54	60	24	24	6	6

а. Угольные электростанции: первая строка – всего по странам, не являющимся членами ОЭСР; вторая строка – по странам, не являющимся членами ОЭСР, без Китая; третья строка – Китай (1994-1999 гг.); четвертая строка – Китай (2000-2008 гг.). б. Гидроэлектростанции: первая строка – по странам, не являющимся членами ОЭСР, без Китая; вторая строка – Китай. с. Атомные электростанции: только случаи с немедленным летальным исходом. d. Ветряные электростанции: только мелкие аварии.

Примечание. Результаты количественных оценок воздействий замедленного действия в виде летального исхода в результате крупных ядерных аварий описаны в следующем разделе.

Источник: Бургхер и Хиршберг, 2014.

В отношении экономических показателей, рассмотренных в ENSAD, исследователи PSI подчёркивают, что данные о жертвах аварий являются самыми однородными, полными и надёжными. В целях обеспечения согласованности, возможности сравнения и надёжности, результаты оценки последствий аварий обычно представляются в виде числа жертв на определённый объём произведённой электроэнергии или в виде экономических издержек, связанных исключительно с жертвами. Данные о случаях получения травм и числе эвакуированных обычно не указываются или являются неполными, а их отчётность в основном более субъективна. Наименее полные и наименее достоверные данные касаются экономических потерь. Прежде всего, отсутствует оценка денежных убытков для большинства неядерных аварий. При составлении отчётности соответствующие элементы издержек недостаточно подробно описываются в документах и существенно отличаются от случая к случаю, в зависимости от назначения и объёма каждой базы данных (например, претензии, компенсированные убытки в сравнении с реальными издержками). Что ещё более важно, диапазон рассматриваемых убытков может значительным образом отличаться в зависимости от источника, начиная от учёта только прямых убытков (или их подгрупп) и заканчивая учётом, включающим косвенные и индуцированные воздействия на экономику в целом.

Анализ различных энергетических цепочек

Статистический анализ тяжёлых аварий может позволить определить некоторые важные глобальные тенденции, общие для большинства энергетических технологий. С точки зрения географического распределения частота аварий и число жертв в результате тяжёлых аварий в странах, не являющихся членами ОЭСР, значительно выше, чем в странах-членах ОЭСР. С другой стороны, в странах, не являющихся членами ОЭСР, имели место аварии с очень тяжёлыми последствиями, которых не наблюдалось в странах-членах ОЭСР. Как и следовало ожидать, результаты для стран, не являющихся членами ОЭСР, в значительно большей степени неоднородны по сравнению с результатами для стран-членов ОЭСР и для государств-членов ЕС. Несмотря на существенные различия в коэффициентах смертности разных стран и технологий, рейтинг регионов оставался устойчивым для анализируемых технологий на ископаемом топливе (Бургхер и Хиршберг, 2008а и 2014). Это указывает на то, что уровень экономического развития, культуры безопасности и потенциала эффективного регулирования значительным образом влияет на уровень риска возникновения тяжёлой аварии.

Анализ динамики за период с 1970 по 2008 год показывает, что частота возникновения тяжёлых аварий на единицу потребляемой энергии снизилась в странах-членах ОЭСР для всех технологий, использующих ископаемое топливо, которые входили в предмет исследования. В странах, не являющихся членами ОЭСР, наблюдается противоположная тенденция, где количество тяжёлых аварий продолжает расти. При этом статистически значимой тенденции в отношении распределения уровня тяжести аварий за анализируемый период не наблюдается (Бургхер и др., 2011).

Угольные электростанции

Тяжёлые аварии и связанные с ними смертельные случаи в угольной цепочке главным образом происходят на этапе разведки и добычи, на которые приходится 99 % всех аварий и 98 % смертельных случаев. Наиболее распространёнными причинами аварий в горнодобывающей отрасли являются: взрыв метана, пожар, обрушение кровли и характерные для Китая опасности затопления. Как уже указывалось ранее, аварии в угольной цепочке происходят в основном на этапе добычи и редко оказывают какое-либо негативное воздействие на население. Таким образом, степень интернализации издержек, связанных с авариями, в угольном секторе выше, чем в других отраслях энергетики.

За последние двадцать лет число смертельных случаев в странах-членах ОЭСР существенно снизилось, несмотря на рост угледобычи. Развитию данной тенденции способствовало внедрение более строгих нормативных требований, перспективные исследования в области предотвращения взрывов газа и закрытие старых и небезопасных для эксплуатации шахт. Что касается ситуации в странах, не являющихся членами ОЭСР, исследователи из PSI особо подчёркивают тот факт, что уровень смертности в Китае на один порядок выше, чем в других странах, не являющихся членами ОЭСР, и, соответственно, должен анализироваться и представляться отдельно. Сравнение данных за периоды с 1994 по 1999 год и с 2000 по 2008 год показало, что количество смертельных случаев в результате аварий постоянно сокращается, что указывает на повышение уровней безопасности в угольной промышленности Китая и их приближение к показателям других стран, не являющихся членами ОЭСР. Между тем, в противовоставление Китаю, количество смертельных случаев в странах, не являющихся членами ОЭСР, выросло.

Нефтяные электростанции

Этап транспортировки, на котором осуществляется перевозка материала на перерабатывающий завод и его региональное распределение, является наиболее аварийно-опасным этапом в рамках нефтяной цепочки, на который приходится более 70 % всех смертельных случаев в странах-членах ОЭСР и почти 90 % в странах, не являющихся членами ОЭСР. Кроме того, самые тяжёлые аварии происходят именно на этих стадиях. Большая часть тяжёлых аварий происходит с участием танкеров (столкновения с судами или землей, взрывы и пожары) или в результате дорожно-транспортных происшествий во время регионального распределения. В нефтяной цепочке число смертельных случаев практически поровну распределяется между работниками и населением (Бургхер и Хиршберг, 2008а).

Аварии в нефтяном секторе могут привести к серьёзному ущербу для окружающей среды в результате выброса углеводородов в экосистему. Согласно оценкам, аварии являются причиной примерно половины всех разливов нефти в море, тогда как вторая половина происходит естественным образом из нефтяных месторождений очень медленными темпами. Большинство разливов нефти в результате антропогенных аварий происходит во время транспортировки танкерами. Самыми аварийно-

опасными зонами являются: Мексиканский залив, северо-восточное побережье США, Средиземное море и Персидский залив.

Что касается других энергетических цепочек, в странах-членах ОЭСР и странах, не являющихся членами ОЭСР, наблюдаются противоположные тенденции с точки зрения количества аварий в нефтяной цепочке; это количество снижается в странах-членах ОЭСР, тогда как в странах, не являющихся членами ОЭСР, оно резко возрастает.

Электростанции, использующие природный и сжиженный нефтяной газ

В газовой цепочке большинство тяжёлых аварий и смертельных случаев происходят во время транспортировки и хранения. Большая часть аварий связана с трубопроводами в случае природного газа и с автомобильными цистернами в случае сжиженного нефтяного газа (СНГ). Второй наиболее часто встречающейся причиной аварий является процесс нагревания природного газа и региональное распределение СНГ. Таким образом, данные ENSAD свидетельствуют о том, что случаи смерти на производстве составляют от 10 до 25 % всех случаев смерти в цепочках природного газа и СНГ, указывая на то, что степень интернализации в случае тяжёлых аварий ниже, чем в случае нефтяной и угольной цепочки (Бурхгер и Хиршберг, 2008а).

В отличие от других технологий производства энергии на ископаемом топливе, в данном случае наблюдаются меньшие различия по уровням аварий и смертельных случаев между странами-членами ОЭСР и странами, не являющимися членами ОЭСР. Тем не менее, ежегодное число тяжёлых аварий значительно выросло в странах, не являющихся членами ОЭСР, тогда как в странах-членах ОЭСР оно остаётся стабильным или характеризуется некоторым спадом.

Атомные электростанции

В истории атомной энергетики насчитывается три тяжёлые аварии: авария на АЭС Три-Майл-Айленд (США, 1979 г.), авария на Чернобыльской АЭС (Украина, 1986 г.) и авария на АЭС Фукусима-1 (Япония, 2011 г.). Тогда как первая авария практически не имела серьёзных последствий для здоровья населения и окружающей среды, связанных с радиационным облучением, в случае других двух аварий такие последствия имели место, и все три аварии привели к социальным и экономическим последствиям широкого спектра, от незначительных до чрезвычайно важных. Так, авария на Чернобыльской АЭС стала причиной 31 случая мгновенной смерти и примерно 6 000 случаев заболевания раком щитовидной железы (в 15 случаях – со смертельным исходом). В случае ядерных аварий основной причиной прогнозируемых смертей являются раковые заболевания, которые могут появляться повсеместно в период от 5 до 10 лет после аварии и до 30 лет или более в случае радиационного облучения. Как уже указывалось ранее, число случаев с потенциальным смертельным исходом рассчитывается на основании оценки рисков Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), которая осуществлялась на основании предположений, как результат пробела в знаниях в отношении воздействий при низких дозах облучения, что сопряжено со значительным уровнем неопределённости⁶. Высокая степень неопределённости также может объясняться выбором величины географического охвата (например, радиус в 50 км или всё северное полушарие) и временного диапазона (например, следующие несколько десятков лет или следующие 10 000 лет). В авторитетном докладе Организации Объединённых Наций (МАГАТЭ, 2005 г.) говорится о том, что точная и надёжная оценка раковых заболеваний со смертельным исходом в результате радиационного облучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС невозможна и что на сегодняшний день случаи возникновения радиационно-индуцированного рака неотличимы от онкологических заболеваний, вызванных другими причинами. Однако Международная группа экспертов МАГАТЭ предполагает, что среди 600 000 человек, получивших значительную дозу облучения (ликвидаторы, работавшие в период с 1986 по 1987 год, эвакуированное население и жители зон наибольшего радиоактивного загрязнения), возможно увеличение уровня смертности от рака в

6. В качестве индивидуальной дозы принята доза в 100 мЗв, что сделано в целях регулирования и оптимизации, а не определено в результате фактических наблюдений. Поэтому, даже если использование таких рассчитанных значений потенциальных смертельных случаев и может быть полезным в целях подготовки и планирования защитных мер, при их использовании необходимо учитывать следующие аспекты: 1) выбор значений рисков, указанных МКРЗ, сделан на основании практического предположения, что все случаи облучения сопряжены с определённым риском; 2) риск может быть представлен в виде линейной беспороговой модели (ЛБМ) соотношения «риск-доза», со значениями от нуля и выше и где уровень повышенного риска, выведен из источников, считающих его статистически значительным с эпидемиологической точки зрения (свыше 100 мЗв); 3) оценка потенциальных случаев летального исхода с использованием расчётов риска, основанных на предположении того, что ЛБМ представляет собой диапазон случаев с возможным смертельным исходом (например, от 0 до количества потенциальных смертельных случаев, рассчитанных по ЛБМ).

результате радиационного облучения на несколько процентов. Это подразумевает 4 000 случаев рака с летальным исходом сверх примерно 100 000 случаев такого заболевания, которые ожидаются у населения по другим причинам.⁷ В других отчётах указывается ещё большее количество ожидаемых смертей, связанных с аварией на Чернобыльской АЭС. Несмотря на более высокую плотность населения в районе Фукусимы по сравнению с Чернобылем, в Японии в результате аварии на АЭС Фукусима-1 ожидается значительно меньшее количество смертельных случаев. Это объясняется более низким общим уровнем выбросов радиоактивных материалов на сушу и принятием очень эффективных и предупредительных защитных контрмер.

По причине значительных отличий в конструкции электростанции (например, по причине отсутствия здания защитной оболочки), а также диапазона оперативных и нормативно-правовых мер, Чернобыльская авария не считается представительным примером уровня безопасности, существующего на электростанциях в странах-членах ОЭСР и странах, не являющихся членами ОЭСР. Исходя из этого, исследователи PSI предлагают выполнить вероятностную оценку (предпочтительно путём проведения полного вероятностного анализа безопасности (ВАБ) уровня III) для определения частоты и потенциальных последствий ядерных аварий. При этом следует помнить, что результаты ВАБ значительным образом зависят от условий каждой электростанции и площадки, их применение к другим электростанциям и объектам должно осуществляться с большой осторожностью.

Гидроэлектростанции

В случае гидроэлектростанций аварии, как правило, происходят в зоне плотин или водохранилищ и могут привести к большому количеству жертв, главным образом среди населения. В качестве примера можно указать аварии на дамбах Баньцяо и Шимантан, которые в общей сложности привели к гибели 26 000 человек. При этом также зафиксированы некоторые случаи аварий при сооружении плотин. За несколькими исключениями, число случаев прорыва плотин со временем значительно снизилось благодаря новым технологическим разработкам, которые были сделаны с начала прошлого столетия, а также усовершенствованию геологического анализа и установлению нормативных требований. Результаты анализа, проведённого PSI, также показали значительное снижение количества аварий в секторе гидроэнергетики по прошествии пятилетнего периода после начала эксплуатации. Данное наблюдение важным образом отражается на оценке рисков, поскольку большинство существующих плотин (по крайней мере, в странах-членах ОЭСР) уже имеет многолетний опыт эксплуатации и, соответственно, представляет меньший риск.

Случаи тяжёлых аварий на гидроэлектростанциях немногочисленны, но имели очень тяжёлые последствия и главным образом происходили в странах, не являющихся членами ОЭСР. В странах-членах ОЭСР число аварий такого рода значительно ниже. Если говорить более конкретно, то за последние 40 лет в этих странах имел место только один случай тяжёлой аварии. Исходя из этого, для стран-членов ОЭСР в целях анализа также учитывались результаты оценки рисков, сделанной для швейцарских электростанций.

Гидроэнергетика и атомная энергетика имеют ряд схожих характеристик. Обе технологии отличаются низким уровнем аварийности (по крайней мере, в странах-членах ОЭСР); но при этом такие аварии потенциально могут затрагивать очень большие территории, воздействовать на большое количество людей и иметь серьёзные экономические последствия. Кроме того, для обеих технологий характерно очень низкое число производственных смертей. Таким образом, степень интернализации издержек, связанных с авариями, в этих двух энергетических цепочках ниже, чем для других технологий производства электроэнергии. Оценка риска, основанная на вероятностном анализе, в значительной степени зависит от особенностей площадки, в частности, от типа анализируемых плотин, от плотности населения в зонах, расположенных вниз по течению от электростанции, и планируемого промежутка времени, необходимого для оповещения для эффективной эвакуации. В целом, при теоретической оценке риска наблюдается тенденция получения значительно более высоких значений в отношении потенциальных последствий, чем при оценке, основанной на накопленном опыте.

Ветряные, солнечные электростанции и электростанции, использующие новые возобновляемые источники энергии

Учитывая их децентрализованный характер, ветряные и солнечные электростанции отличаются низким потенциалом причинения катастрофического ущерба. Данные в отношении тяжёлых аварий

7. В исследовании указывается, что среди 5 миллионов жителей зон радиоактивного загрязнения, которые подвергаются воздействию более низких доз, «прогнозирование роста смертности основано в большей степени на теоретических заключениях, однако, по всей вероятности, ожидаемая разница составит менее 1 % в рамках общих показателей смертности от рака».

на электростанциях, использующих новые возобновляемые источники энергии, достаточно ограничены и касаются отдельных технологий. В случае ветряных электростанций имеется целый ряд аварийных случаев, которые, однако, ограничены определёнными регионами. В случае фотоэлектрических солнечных электростанций самый высокий уровень риска приходится на этап изготовления, при котором используются различные взрывчатые и токсичные вещества, тогда как вероятность крупных аварий в период непосредственной эксплуатации и технического обслуживания электростанции остаётся очень низкой. В результате нескольких аварий, касающихся ветряных и фотоэлектрических солнечных цепочек, имелись жертвы. Несмотря на то, что ни одна из таких аварий не привела более чем к пяти смертельным случаям, факт наличия таких случаев остаётся неизменным. Тем не менее, для оценки рисков таких аварий помимо ограниченных исторических данных также использовались результаты количественного анализа, основанного на оценках экспертов. Наконец, для некоторых технологий, использующих возобновляемые источники энергии, таких как тепловая солнечная энергетика или волновая и приливная энергетика, какие-либо данные практически отсутствуют, поэтому оценка основывается исключительно на мнении экспертов.

Сравнительный анализ

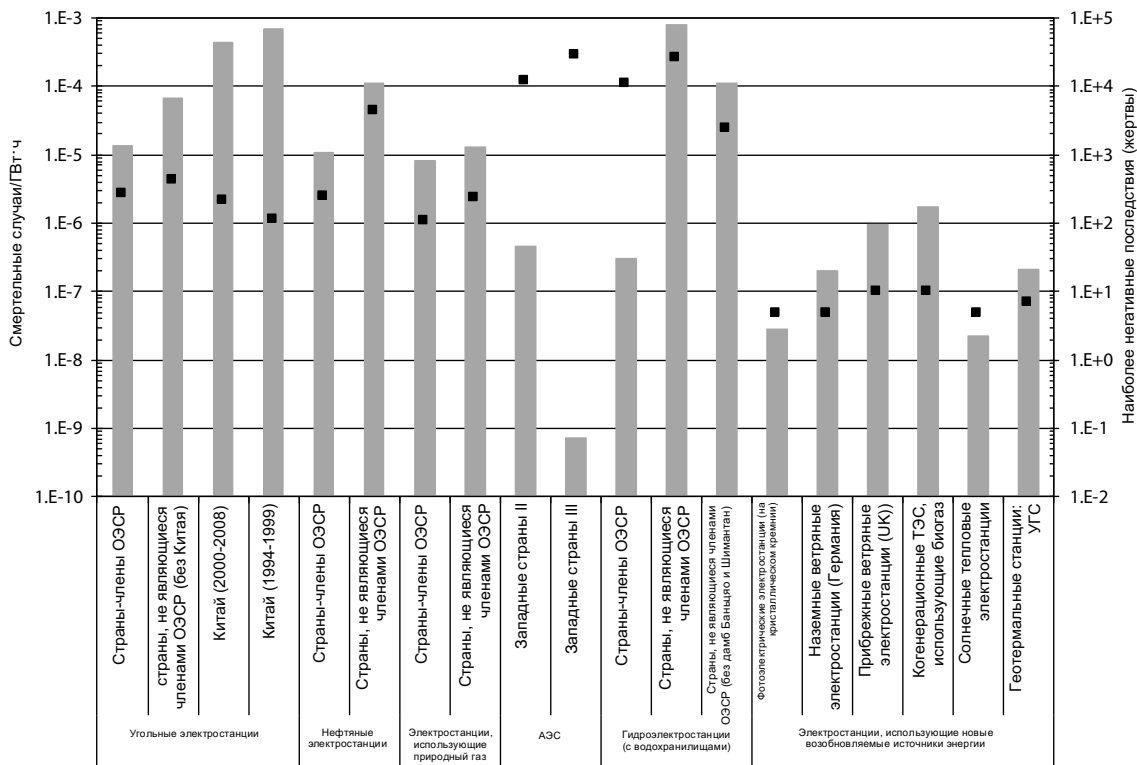
В большинстве исследований, которые направлены на анализ внешних эффектов производства электроэнергии, сравнение риска тяжёлых аварий сосредоточено на количестве жертв и связанных с ними экономических затратах. Данный выбор обоснован тем, что информация о смертельных случаях является наиболее полной, последовательной и надёжной из всех основных рассматриваемых последствий, что позволяет выполнить более согласованное сопоставление между энергетическими цепочками. Однако, если число жертв и представляется наиболее важным показателем для политиков и населения в целом, оно является лишь одним из целого ряда последствий в случае тяжёлой аварии. Таким образом, ограничение экономического анализа только данным аспектом ведёт к заниженным результатам оценки совокупных экономических последствий аварий. Кроме того, в зависимости от энергетической цепочки, смертельные случаи, по всей вероятности, представляют собой отдельный элемент общего экономического воздействия аварии, поэтому рассмотрение последствий аварии только с точки зрения данного аспекта искажает результаты сравнительного анализа. Так, например, предполагается, что аварии на атомных электростанциях и гидроэлектростанциях могут иметь и другие значимые экономические последствия помимо жертв, тогда как в случае других энергетических технологий смертельные случаи будут являться ключевым элементом экономических последствий.

Для каждой энергетической цепочки результаты представляются в форме двух отдельных показателей, которые отображают разные важные данные. Первый сводный показатель даёт информацию о числе жертв на единицу произведённой электроэнергии, что позволяет непосредственно и однозначно сопоставить последствия тяжёлых аварий в разных энергетических цепочках и группах стран. На рис. 6.2 показаны совокупные результаты такого сравнения, которые отображают прогнозируемое число жертв и максимальное число произошедших (или ожидаемых) смертельных случаев на единицу произведённой электроэнергии; а также на рис. 6.3 представлены результаты оценки совокупных экономических издержек, связанных с такими жертвами. Дополнительные данные могут быть получены при использовании кривых зависимости последствий от периодичности (П-П). Данный метод позволяет получить дополнительную ценную информацию, которая остаётся скрытой при использовании сводных показателей, дающую представление о потенциальном максимальном ущербе, а также о вероятности аварии с числом жертв, превышающем установленный порог. Оценка исторического опыта в отношении тяжёлых аварий отображает существенные различия между разными технологиями, а также между отдельно взятыми странами или группами стран. За исключением электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, риски аварий, связанных с энергетическим сектором, значительно выше в странах, не являющихся членами ОЭСР, чем в странах-членах ОЭСР, и это касается всех рассматриваемых энергетических цепочек. Частота аварий для всех энергетических цепочек обычно также отличается более высоким уровнем в странах, не являющихся членами ОЭСР. Кроме того, наиболее серьёзные негативные последствия также наблюдаются именно в странах, не являющихся членами ОЭСР. И, наконец, результаты, касающиеся стран-членов ОЭСР, являются в целом более однородными в отличие от результатов, касающихся стран, не являющихся членами ОЭСР, имеющих разрозненный характер.

Среди централизованных крупномасштабных технологий в странах-членах ОЭСР гидроэнергетика и атомная энергетика характеризуются наиболее низким ожидаемым числом смертельных случаев и, соответственно, наименьшими затратами, связанными с авариями и внешними издержками. Цепочки ископаемого топлива имеют более высокий уровень аварийной опасности и вместе с гидроэнергетическими технологиями в странах, не являющихся членами ОЭСР, демонстрируют значительно более высокие коэффициенты смертности от аварий, как это показано на рис. 6.2. Среди технологий на ископаемом топливе газовая энергетика характеризуется самым низким числом смертельных случаев и наименьшими соответствующими экономическими издержками. Что касается других технологий, использующих возобновляемые источники энергии (солнечная энергетика, ветроэнергетика и новые технологии), имеющийся опыт и результаты проведённого анализа показывают,

что они характеризуются достаточно низким уровнем риска и, с точки зрения числа смертельных случаев, могут быть сравнимы с атомной энергетикой и гидроэнергетикой в странах-членах ОЭСР.

Рисунок 6.2: Смертельные случаи и максимальный уровень последствий тяжёлых аварий (чёрные точки)



Примечание. Данные основаны исключительно на историческом опыте, полученном в период с 1970 по 2008 год. В случае атомных электростанций результаты основаны на оценке, проведённой в рамках ВАБ, а в случае электростанций, использующих новые возобновляемые источники энергии, объединены исторические данные, оценки экспертов и результаты моделирования.

Источники: по материалам работы Хиршберга и др., 2016.

Потенциальные тяжёлые аварии в производственных цепочках атомной энергетики и гидроэнергетики, в свою очередь, могут привести к более крупному экономическому ущербу и более высокому числу жертв по сравнению с авариями в случае других технологий. Что касается технологий, использующих новые возобновляемые источники энергии, с учётом их ограниченного размера и децентрализованного характера производства, по сравнению с другими технологиями они характеризуются меньшим максимальным уровнем потенциальных негативных последствий. Информация о максимальном уровне потенциальных негативных последствий является очень важной, поскольку общество в целом и отдельно взятые лица не готовы принять варианты развития событий, при которых существует вероятность значительных негативных последствий или большая степень неопределённости. Простого умножения вероятности на уровень потенциальных последствий недостаточно для решения данного вопроса. По этой причине некоторые авторы и исследователи применяют коэффициент неприятия риска (более единицы) для событий с низкой вероятностью возникновения и потенциально серьёзными последствиями, однако выбор данного коэффициента является субъективным и спорным. Оценка этого субъективного аспекта может быть надлежащим образом обеспечена путём проведения комплексного анализа. В рамках проекта SECURE выделяется три отдельных показателя риска для определения характера риска тяжёлых аварий и для использования в рамках комплексного анализа решений (Экле и др. (*Eckle et al*), 2011 г.).

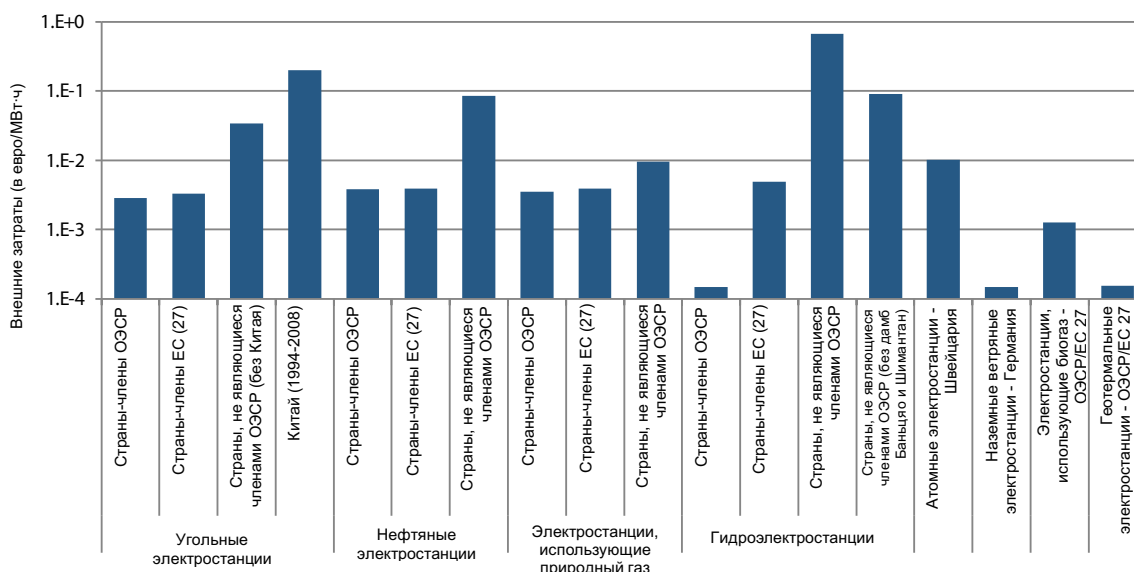
Как отмечалось в предыдущем разделе, оценка экономических потерь, связанных с тяжёлыми авариями, носит комплексный характер и включает в себя субъективные компоненты. Таким образом, представленные ниже результаты имеют высокую степень неопределённости и, особенно если они получены на основе анализа прошлых аварий, могут характеризоваться систематической недооценкой. Кроме того, различные способы сбора и представления данных, выбор включаемых категорий затрат и объём анализа могут привести к погрешностям при сравнении технологий. Для обеспечения более точного сопоставления разных технологий на рис. 6.3 представлены только внешние издержки, связанные с жертвами, поскольку этот показатель является наиболее надёжным. Результаты основаны

на данных ENSAD за период с 1970 по 2008 год и представляют обобщённые последние опубликованные данные о внешних издержках, связанных с тяжёлыми авариями, для нескольких энергетических технологий. Следует отметить, что данные в отношении атомной энергетической цепочки были получены путём вероятностного анализа безопасности одной из АЭС в Швейцарии и включают в себя как несчастные случаи с мгновенным смертельным исходом, так и несчастные случаи с потенциальным смертельным исходом. В целом, внешние издержки, связанные со смертельными случаями в результате тяжёлых аварий, являются низким и, как правило, находятся на уровне значительно меньше, чем 1 евро на МВт·ч для всех анализируемых технологий и регионов. В частности, издержки, связанные с авариями, в странах-членах ОЭСР составляют от 10^{-2} до 10^{-3} евро на МВт·ч для большинства традиционных технологий производства электроэнергии, а в случае ветрогенерации, гидрогенерации и геотермальных технологий уровень этих издержек примерно на один порядок ниже.

В рамках проекта NewExt (Фридрих, 2004a) исследователи PSI выполнили расчёт издержек для более широкого круга категорий затрат (жертвы, пострадавшие, эвакуированные и последствия разливов нефти) на основании данных об основных крупномасштабных технологиях. Совокупные издержки, связанные с авариями, были рассчитаны путём объединения четырёх компонентов затрат. В табл. 6.2 указана доля каждой из четырёх категорий в совокупных издержках, связанных с авариями, а также доля от общих издержек, которая была учтена при интернализации. Результаты показывают, что затраты, связанные со смертельными случаями, составляют значительную долю издержек в цепочках угольной энергии и энергии природного газа, тогда как в случае других энергетических цепочек более значимую роль играют другие компоненты затрат. В частности, в странах-членах ОЭСР экологические затраты, связанные с разливами нефти, и затраты на эвакуацию в случае ядерных аварий в соответствующих энергетических цепочках являются доминирующими. Однако, учитывая высокую степень неопределённости, эти результаты могут использоваться только в качестве дополнения к данным, представленным на рис. 6.3, и должны рассматриваться только как показатели порядка величины разных категорий издержек для различных технологий.

Рисунок 6.3: Оценка внешних издержек, связанных с крупными авариями, для разных энергетических технологий

(в евро/МВт·ч, логарифмическая шкала)



Примечание. Данные в отношении атомной энергетической цепочки были получены путём вероятностного анализа безопасности одной из АЭС в Швейцарии и включают в себя как несчастные случаи с мгновенным смертельным исходом, так и несчастные случаи с потенциальным смертельным исходом. Данные о наземных ветряных электростанциях были доступны только для Германии. В отношении всех других технологий имелись более широкие наборы данных. Источник: на основании данных работы Бургхера и Хиршберга, 2014.

Таблица 6.2: **Общая стоимость ущерба в результате тяжёлых аварий для разных экономических показателей**

		Общая стоимость ущерба в результате тяжёлых аварий (в евро по курсу 2002 г./МВт·ч)					Доля, учтённая при интернализации
		Всего	Жертвы	Пострадавшие	Эвакуированные	Разливы нефти	
Угольные электростанции	Страны-члены ОЭСР	1.73E-02	98,7 %	1,3 %	Н/Д	Н/Д	80 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР	6.58E-02	99,2 %	0,8 %	Н/Д	Н/Д	50 %
	Китай	1.22E-01	99,7 %	0,3 %	Н/Д	Н/Д	50 %
Нефтяные электростанции	Страны-члены ОЭСР	5.90E-02	32,2 %	5,0 %	0,1 %	62,7 %	65 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР	1.87E-01	67,3 %	3,3 %	0,0 %	29,4 %	24 %
Электростанции, использующие природный газ	Страны-члены ОЭСР	8.13E-03	81,1 %	18,3 %	0,6 %	Н/Д	60 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР	9.98E-03	91,7 %	8,3 %	0,0 %	Н/Д	30 %
Гидроэлектростанции	Страны-члены ОЭСР	2.02E-03	20,1 %	77,2 %	2,8 %	Н/Д	50 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР	1.23E+00	100,0 %	0,0 %	0,0 %	Н/Д	20 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР (без дамб Баньцяо и Шимантан)	1.61E-01	99,8 %	0,1 %	0,1 %	Н/Д	20 %
Атомные электростанции	Страны-члены ОЭСР	5.14E-04	Н/Д	38,5 %	61,5 %	Н/Д	62 %
	Страны, не являющиеся членами ОЭСР	1.11E-02	51,7 %	41,3 %	7,0 %	Н/Д	48 %

Источник: на основании данных работы Фридриха, 2004а.

Другие результаты/исследования

В литературных источниках редко встречаются попытки оценки экономических затрат, связанных с авариями в энергетическом секторе. Но даже они имеют достаточно узкую направленность с точки зрения рассматриваемых технологий. Кроме того, каждое исследование имело разную приоритетную область и применялись разные методологии, что ограничивает возможность сравнения результатов. Однако в целях полноты анализа в настоящем документе всё же приводятся основные результаты таких исследований.

В работе Совакула (2008) опубликованы подробные данные о числе жертв и величине материального ущерба по 208 авариям в рамках основных энергетических цепочек, произошедшим в период с 1907 по 2007 год. Однако в его работе не было предпринято никаких попыток расчёта ожидаемых издержек на единицу произведённой энергии. В последней работе Совакула (2016) риск аварий был определён для нескольких низкоуглеродных технологий на основании статистической выборки аварий, произошедших в период с 1990 по 2013 год, с учётом других компонентов затрат, помимо количества смертельных случаев. Были получены следующие нормативные издержки: 3 евро на МВт·ч для атомных электростанций; 0,23 евро на МВт·ч для ветряных электростанций; 0,1 евро на МВт·ч для гидроэлектростанций; 0,15 евро на МВт·ч для электростанций на биомассе; и 0,03 евро на МВт·ч для солнечных электростанций.

Также было проведено несколько других исследований, сосредоточенных только на тяжёлых авариях в секторе атомной энергетики. В этом случае, в очередной раз, исследования отличались по объёму, использовали разные методологии для оценки частоты ожидаемых аварий, а также учитывали разные категории затрат, что значительным образом осложняет сопоставление результатов. В работах Лаэса и др. (*Laes et al.*) (2011) и IER (2013) издержки, связанные с тяжёлыми ядерными авариями, составляют от 0,1 до 0,15 евро на МВт·ч соответственно. Согласно оценке Левека (*Lévêque*) (2013а и 2013b) и Раблов (*Rabl and Rabl*) (2013), эти затраты примерно на один порядок выше и составляют 1 евро и 3,8 евро на МВт·ч соответственно, тогда как по расчётам Торфса (*Torfs*) (2001) внешние издержки, связанные с ядерными авариями, находятся в пределах от $8 \cdot 10^{-4}$ до 0,35 евро на МВт·ч.

6.4. Перспективы интернализации

Аварии в энергетической цепочке могут привести к широкому ряду негативных последствий для местной и глобальной экономики, среди которых: прямое воздействие на здоровье работников и

население в виде повышения уровня смертности и заболеваемости, необходимость эвакуации и перемещения людей на потенциально длительный период, прямое воздействие на энергетическую инфраструктуру и другие прямые частные потери. В некоторых энергетических цепочках аварии также могут повлечь за собой обширное и долгосрочное воздействие на окружающую среду и экосистемы, а также более широкие последствия с точки зрения надёжности энергоснабжения и национальной экономики в целом. Однако при анализе показателей ожидаемой частоты возникновения аварий, уровень риска, связанный с тяжёлыми авариями в энергетической цепочке, остаётся сравнительно низким. Результаты исследования ЕС NewExt показали, что общая степень интернализации ущерба⁸ находится в диапазоне от 50 до 80 % в странах-членах ОЭСР, в зависимости от рассматриваемой технологии. В странах, не являющихся членами ОЭСР, степень интернализации издержек, связанных с авариями, значительно ниже и составляет от 20 до 50 % (см. табл. 6.2).

Некоторые экономические потери несёт непосредственно владелец объекта, на котором произошла авария, и, таким образом, они не считаются внешними. Примером одной из таких потерь является снижение стоимости объекта, пострадавшего в результате аварии, и дополнительные затраты на компенсацию производственных потерь. Другие экономические потери, такие как воздействие на здоровье персонала, частично включаются в стоимость труда. Степень интернализации в разных странах разная и в целом является более высокой в странах-членах ОЭСР. Однако существует также целый ряд потенциальных последствий аварий, которые затрагивают общество в целом, и интернализация затрат по которым представляет собой более неоднозначный и сложный процесс. Это касается экономических последствий для здоровья или коммерческой собственности третьей стороны или окружающей среды. Лицо, по вине которого произошла авария, несёт ответственность за выплату компенсации пострадавшим, что обеспечивает определённую интернализацию издержек, связанных с аварией. Так, например, нефтегазовая компания BP была вынуждена выплатить несколько миллиардов долларов США в качестве компенсации пострадавшим в результате аварии на нефтяной буровой платформе Deepwater Horizon, а также другим организациям и правительству США в качестве компенсации ущерба, нанесённого окружающей среде и экосистеме. Однако возможность выплаты такой компенсации зависит от финансового состояния компании, которая несёт ответственность за последствия аварии.

Потенциальные последствия для общества в целом, которые могут иметь место в результате тяжёлых аварий, и фактическая степень интернализации затрат, связанных с тяжёлыми авариями, являются широко дискутируемыми вопросами, в частности, с точки зрения технологий производства электроэнергии, где маловероятные события могут привести к значительному ущербу. Это касается гидроэнергетики, атомной энергетики и, в чуть меньшей степени, нефтяной промышленности. В частности, тяжёлая авария на атомной электростанции или гидроэлектростанции может привести к негативным последствиям, размер компенсации которых будет превышать финансовые возможности владельца предприятия, который должен нести ответственность за такую аварию. Эти вопросы уже поднимались на ранних этапах развития ядерной энергетики и способствовали созданию специальных режимов ответственности и международных конвенций, применяемых в случае ядерной аварии.

Были разработаны специальные международные режимы ответственности в отношении транспортировки нефти и атомной промышленности в целях обеспечения адекватной компенсации пострадавших в случае разливов нефти из танкеров⁹ или воздействия ионизирующего излучения при авариях на объекте использования атомной энергии.¹⁰ Эти режимы имеют ряд общих черт, среди которых: строгая и, как правило, ограниченная ответственность владельца танкера или организации, эксплуатирующей АЭС, обязательное финансовое обеспечение, покрывающее такую ответственность, и

8. Данный анализ ограничен определёнными категориями ущерба, то есть, числом жертв, заболеваемостью, издержками, связанными с эвакуацией, и экономическими последствиями при разливах нефти.
9. Конвенции: Международная конвенция о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения нефтью, 1992 г. (Конвенция о гражданской ответственности 1992 года) и Международная конвенция о создании Международного фонда для компенсации ущерба от загрязнения нефтью, 1992 г. (Конвенция о Фонде 1992 года), а также Протокол от 2003 года к Конвенции о Фонде 1992 года (Протокол о дополнительном фонде).
10. Парижская конвенция об ответственности перед третьей стороной в области ядерной энергии 1960 года и Брюссельская дополнительная конвенция 1963 года; Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб 1963 года и Протокол, изменяющий Венскую конвенцию 1997 года; а также Конвенция о дополнительной компенсации за ядерный ущерб 1997 года.

положения, касающиеся установления компетентного суда. В отношении нефтяного загрязнения соответствующими конвенциями организовано создание международных фондов в целях обеспечения дополнительного финансирования в случае выплаты компенсации пострадавшим. Государства-участники такой системы обязуются вносить вклад в общий фонд. На первом уровне вносятся средства владельцем судна, а оставшиеся два уровня покрываются Международными фондами для компенсации ущерба от загрязнения нефтью, в зависимости от взносов по каждой процедуре поставки нефти, уплачиваемых соответствующим лицам или организациям. В случае атомной энергетики в большинстве случаев ответственность организации, эксплуатирующей АЭС, ограничивается определённой суммой, которая зависит от конкретной страны, и международной конвенции, которая применима в этой стране. В дополнение к этой сумме могут выделяться дополнительные средства страной, в которой произошла авария, и/или странами, которые являются участниками той же конвенции о дополнительном возмещении.¹¹ Организация, эксплуатирующая АЭС, должна иметь и поддерживать финансовое обеспечение, покрывающее её обязательства в виде коммерческого страхования, объединения фондов нескольких предприятий, общего взаимного страхования, корпоративного финансирования или других альтернативных финансовых инструментов. В некоторых странах, таких как Германия, Япония и США, созданы объединённые фонды для организаций, эксплуатирующих АЭС.¹² Например, в США в рамках Закона Прайса-Андерсона после выплаты организациями, эксплуатирующими АЭС (через соответствующие страховые компании), суммы в 450 миллионов долларов США, каждый лицензиат производит вклад в фонд на пропорциональной основе в качестве дополнительной компенсации в размере до 121 255 000 долларов США за каждый реактор. Таким образом, на данный момент страховой пул насчитывает вклады в счёт компенсации по 102 реакторам, составляя в сумме 12,4 миллиарда долларов США.

Международные конвенции и режимы ответственности предоставляют эффективную законодательную основу в случае аварий, требуют обязательного финансового обеспечения, гарантируют сравнительно быстрый и недискриминационный процесс выплаты компенсации для пострадавших в стране, где произошла ядерная авария, или для пострадавших в странах, которые являются участниками той же международной конвенции. С экономической точки зрения эти инструменты обеспечивают интернализацию части ущерба, понесённого третьими сторонами. Тем не менее, фонды, созданные в рамках таких режимов ответственности, на практике ограничены (по причине ограничения общей суммы или в противном случае по причине недостаточности средств у соответствующей компании), а различные типы ущерба, подлежащего компенсации, определяются законом, решением суда и/или специальными комитетами. Кроме того, часто утверждается, что фактическая интернализация имеет место только в отношении доли издержек, вносимых владельцем предприятия или объединёнными между собой организациями, эксплуатирующими АЭС, тогда как к доле, вносимой правительствами, это не относится.

Если говорить конкретно об атомной энергетике, главные вопросы заключают в том, какие лица или организации располагают наилучшими возможностями для покрытия риска ядерной аварии и, в частности, остаточного риска, и в каком объёме возможна (или желательна) их интернализация. С точки зрения страховщика, определение рисков ядерной аварии сопряжено с рядом трудностей: 1) такие аварии имеют низкий уровень частоты и серьёзные последствия, в связи с чем ожидаемая частота возникновения и возможные требования о возмещении расходов неизвестны и трудны для расчёта; 2) такие риски не являются диверсифицируемыми, и существует вероятность предъявления сразу целого ряда требований о возмещении ущерба по одному и тому же событию; и 3) количество существующих предприятий атомной промышленности достаточно невелико, что значительно осложняет процесс распределения рисков. Что касается катастрофических рисков, страховщики должны взимать дополнительную страховую премию, размер которой может в несколько раз превышать сумму годовых ожидаемых потерь, для обеспечения способности погашения соответствующих обязательств. Кроме того, на сегодняшний день некоторые потенциальные потери не подлежат страхованию или их страхование затруднительно. В частности, страховщики неохотно соглашаются обеспечивать покрытие рисков на случай смерти или получения травм, которые имеют место в период от десяти до тридцати лет после

11 В некоторых странах предусмотрена неограниченная ответственность для организаций, эксплуатирующих АЭС. Однако на практике ответственность частной компании ограничивается её финансовыми ресурсами, доступными после аварии.

12 Для получения более детальной информации о системах объединения ресурсов, действующих в Германии и США, смотрите работу Норберта Пельцера (*Norbert Pelzer*) «Соглашение об объединении организаций, эксплуатирующих АЭС. Национальная и международная перспектива» (*Operators' pooling arrangement: a national and international perspective*), Гёттингенский университет, Германия (2013) на сайте www.oecd-nea.org/ndd/workshops/nuclearcomp/presentations; для получения дополнительной информации о системах объединения ресурсов в Японии смотрите документ, посвящённый японской системе компенсации за ядерный ущерб ТЕРСО в результате аварии на АЭС Фукусима-1 (*Japan's Compensation System for Nuclear Damage as related to the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Accident*) (2012), доступный на сайте www.oecd-nea.org/ndd/workshops/nuclearcomp/presentations.

ядерной аварии, тогда как лишь немногие из них отказываются полностью компенсировать затраты, связанные с принятием мер по восстановлению окружающей среды, или издержки, направленные на проведение предупредительных мероприятий. В случае превышения определённого уровня государство является единственным лицом, способным понести риск аварии, и социализация такого остаточного риска является наиболее экономически эффективным решением.

Вопрос о том, должно ли государство получать компенсацию за финансирование, превышающее долю компенсации, предоставляемой организацией, эксплуатирующей АЭС, которая несёт ответственность за аварию, и, соответственно, подлежат ли полной интернализации издержки, связанные с ядерными авариями, всё ещё остаётся открытым. Как уже говорилось в настоящей главе, оценка ожидаемой частоты возникновения тяжёлой ядерной аварии, а также связанных с ней затрат, сопряжена с определёнными трудностями и является весьма спорной. Главная трудность заключается в достоверной оценке рисков, связанных с ядерной аварией, а также остаточного риска, который должно нести государство. Однако, несмотря на значительные наблюдаемые различия, большинство имеющихся результатов таких оценок указывают на то, что ожидаемый риск возникновения ядерной аварии довольно низок, и остаточный риск, соответственно, будет ещё ниже.

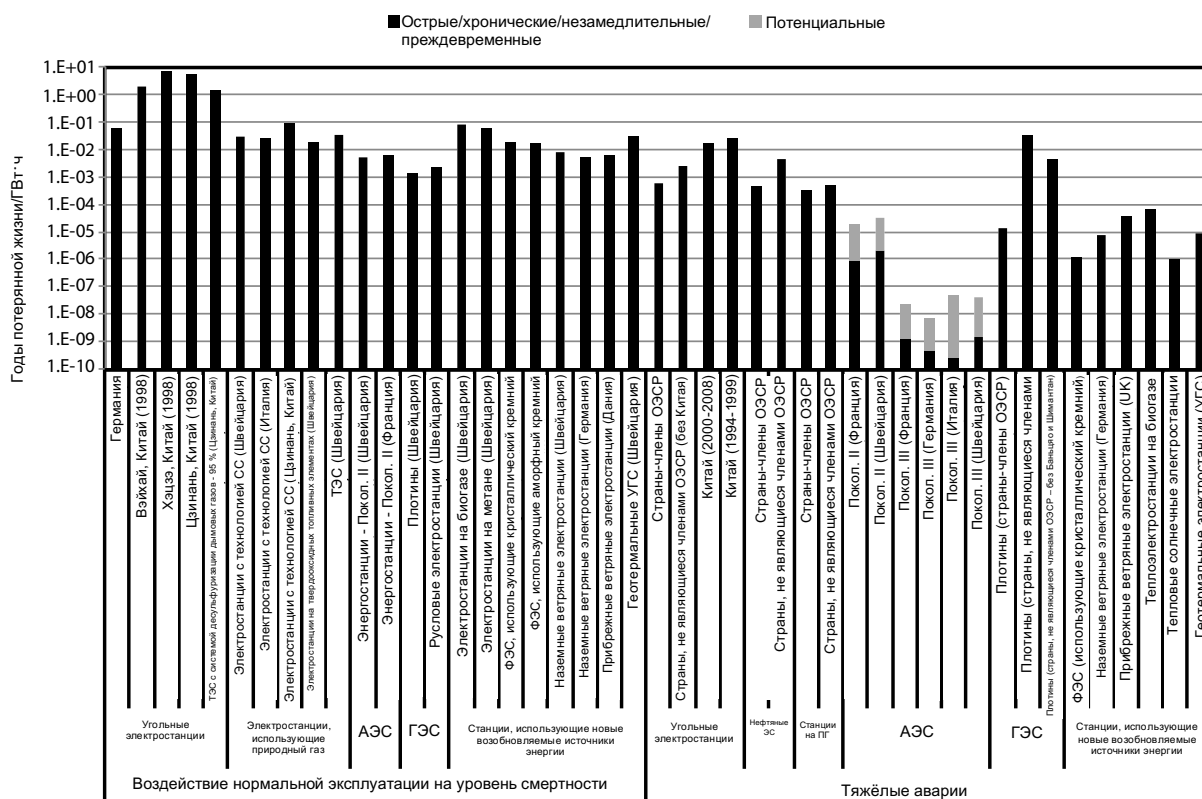
6.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Убытки, понесённые в результате тяжёлых аварий в энергетическом секторе, являются существенными, однако остаются достаточно низкими по сравнению с теми, которые имеют место в случае стихийных бедствий или антропогенных аварий в транспортном секторе. Имеющиеся результаты анализа последствий аварий и связанных с ними внешних издержек связаны со значительными факторами неопределённости и имеют консервативный характер. Анализ последствий ограничивается определённым типом аварий (рассматриваются только тяжёлые аварии), опирается на неполную информацию и учитывает только ограниченную подгруппу возможных потерь. В частности, экономическая оценка последствий аварии имеет высокую степень неопределённости и сопряжена с вероятностью получения заниженных результатов. Однако в отношении всех энергетических технологий уровень общих и внешних издержек, связанных с тяжёлыми авариями, находится на несколько порядков ниже уровня затрат, возникающих при нормальной эксплуатации в результате загрязнения и углеродосодержащих выбросов. Это показано на рис. 6.4, где представлено сравнение аварий при нормальной эксплуатации с тяжёлыми авариями, имеющими место во всех основных энергетических цепочках.

В данной области необходимы дополнительные исследования, которые должны поощряться государствами и политиками. Это позволит получить более полные, согласованные и обширные данные, а также расширить область рассматриваемых последствий. Однако, даже если это приведёт к пересмотру имеющихся в настоящий момент данных, значительного изменения представленных выше выводов не ожидается.

Несмотря на содержащиеся здесь заключения, риск тяжёлых аварий не следует игнорировать, поскольку такие аварии могут привести к крупномасштабным и долговременным воздействиям на благополучие людей, состояние окружающей среды и всё общество в целом. Кроме того, как правило, тяжёлые аварии широко освещаются средствами массовой информации и привлекают внимание населения и различных заинтересованных сторон. Многие исследования указывают на то, что такое широкое освещение в СМИ может привести к завышению оценки вероятности и предполагаемого риска возникновения тяжёлых аварий. В своей работе Фридрих (2004а) отмечает, что вероятность смертельных случаев от широко освещённых бедствий, воспринимается как более высокая по сравнению с вероятностью заболевания раком груди или диабетом, которые менее широко освещаются в средствах массовой информации. Определённую роль также играет фактор неприятия риска. Д'Эселер (*D'haeseleer*) (2013) путём сравнения предполагаемых рисков авиакатастроф и автомобильных аварий приходит к выводу, что случаи, которые происходят с высокой периодичностью, но с малым числом жертв, считаются менее рискованными, чем более редкие случаи с большим количеством жертв. Следует провести дополнительные научные и экономические исследования и получить больше конкретной информации о последствиях тяжёлых аварий, которая должна быть доведена до сведения общественности и политиков. Более глубокое изучение и понимание рисков позволит принимать более взвешенные экономические решения.

Рисунок 6.4: Смертельные случаи в ходе нормальной эксплуатации и вследствие тяжёлых аварий в основных энергетических цепочках



CC: улавливание CO₂; КТЭС: когенерационные теплоэлектростанции

Источник: по материалам АЯЭ из работы Хиршберга и др., 2016.

Список литературы

Burgherr, P. and S. Hirschberg (2014), "Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector", *Energy Policy*, Vol. 74, pp. S45-S56.

Burgherr, P. and S. Hirschberg (2012), "Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 105, pp. 97-103.

Burgherr, P., P. Eckle, S. Hirschberg and E. Cazzoli (2011), *Final Report on Severe Accident Risks including Key Indicators*, SECURE Project (Security of Energy Considering its Uncertainty, Risk and Economic implications), Deliverable n°5.7.2a.

Burgherr, P. and S. Hirschberg (2008a), "Severe accident risks in fossil energy chains: A comparative analysis", *Energy*, Vol. 33, pp. 538-553.

Burgherr, P. and S. Hirschberg (2008b), "A comparative analysis of accident risks in fossil, hydro, and nuclear energy chains", *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 14, pp. 947-973.

Burgherr, P., S. Hirschberg and E. Cazzoli (2008c), *Final Report on Quantification of Risk Indicators for Sustainability Assessment of Future Electricity Supply Options*, NEEDS, Deliverable D7.1, EU FP6 Project, www.needs-project.org/2009/Deliverables/RS2b%20D7.1%20-%20Risk%20Indicators.pdf.

Csereklyei, Z. (2014), "Measuring the impact of nuclear accidents on energy policy", *Ecological Economics*, Vol.

99, pp. 121-129.

D'haeseleer, W. (2013), *Synthesis on the Economics of nuclear Energy. A study for the European Commission*, EC, DG Energy, Brussels-Luxembourg, November, www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/wpen2013-14.pdf.

Eckle, P., E. Cazzoli, P. Burgherr and S. Hirschberg (2011), "Analysis of Terrorism Risk for Energy Installations: Executive Summary (public)", SECURE Project, Deliverable n°5.7.2b.

ExternE (1995), "Method for Estimation of Physical Impacts and Monetary Valuation for Priority Impact Pathways", Externalities of Energy "ExternE", Project Vol. 2: Methodology.

Felder, F.A. (2009), "A critical assessment of energy accident studies", *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 5744-5751.

Friedrich, R. (2004a), *New Ext Final Report to the European Commission*, New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (NewExt).

Friedrich, R. (2004b), *NewExt Publishable Report to the European Commission*, New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (NewExt), EU FP5 project.

Hirschberg, S., C. Bauer, P. Burgherr, E. Cazzoli, T. Heck, M. Spada, K. Treyer (2016), "Health effects of technologies for power generation: Contributions from normal operation, severe accidents and terrorist threat", Elsevier (Eds.), *Reliability Engineering and System Safety* 145, pp. 373-387, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183201500277X.

Hirschberg S., C. Bauer, P. Burgherr, R. Dones, A. Simons, W. Schenler, T. Bachmann, D. Gallego Carrera (2008), *Final Set of Sustainability Criteria and Indicators for Assessment of Electricity Supply Options*", NEEDS, Deliverable 3.2 - RS2b, EU FP6 Project, www.needs-project.org/docs/RS2b%20D3.2%20-%20Criteria&Indicators.pdf.

Hirschberg, S., G. Spiekerman and R. Dones (1998), "Severe accidents in the energy sector - First Edition", Paul Scherrer Institute, *PSI Report*, No. 98-16.

IAEA (2005), *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*, The Chernobyl Forum: 2003-2005, Second revised version, IAEA, Vienna.

IER (2013), "Die Risiken der Kernenergie in Deutschland im Vergleich mit Risiken anderer Stromerzeugungstechnologien", by Preiss, P., S. Wissel, U. Fahl, R. Friedrich and A. Voss, University of Stuttgart, IER, February, Bericht Nr. 11 (only in German) www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/downloads/Arbeitsbericht_11.pdf.

Laes, E., G. Mesken and J.P. van der Sluijs (2011), "On the contribution of external cost calculations to energy system governance: the case of a potential large-scale nuclear accident", *Energy Policy*, 39, pp. 5664-5673.

Leveque, F. (2013a), *Estimating the Cost of Nuclear Power: Benchmarks and Uncertainties*, Working Paper 13-ME-01, Interdisciplinary Institute for Innovation, CERNA, MINES ParisTech, Paris, <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00782190/document>.

Leveque, F. (2013b), *The Risk of a Major Nuclear Accident: Calculation and Perception of Probabilities*, Working Paper 13-ME-02, Interdisciplinary Institute for Innovation, CERNA, MINES ParisTech, Paris, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/84/13/96/PDF/I3WP_13-ME-02_2.pdf.

Lordan, R. et al. (2015), "Import-adjusted fatality rates for individual Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries caused by accidents in the oil energy chain", *Journal of Cleaner Production*, 108, pp. 1203-1212.

NEA (2010), *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*, OECD, Paris,

www.oecd-nea.org/ndd/reports/2010/nea6861-comparing-risks.pdf.

Rabl, A. and V.A. Rabl (2013), "External costs of nuclear: greater or less than the alternatives?", *Energy Policy*, Vol. 57, pp. 575-584.

Sovacool, B.K. (2016), "Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, pp.3952-3965.

Sovacool, B.K. (2008), "The costs of failure: A preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007", *Energy Policy*, Vol. 36, pp. 1802-1820.

Spada, M. and P. Burgherr (2016), "An aftermath analysis of the 2014 coal mine accident in Soma, Turkey: Use of risk performance indicators based on historical experience", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 87, pp. 134-140.

Torfs, R. (2001), *Externe kosten van elektriviteitsproductie - Fase 3 van het CO₂-project*, "Study performed for the Electricity Generators Electrabel and SPE, under the Auspices of the Regulatory Committee for Gas and Electricity (CCGE)", Mol, (only in Dutch).

Vitazkova, J. and E. Cazzoli (2013), "Common risk target for severe accidents of nuclear power plants based on IAEA INES scale *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 262, pp. 106-125.



Глава 7. Изменения в землепользовании и истощение природных ресурсов

7.1. Введение

Различные формы генерации электроэнергии могут оказывать значительное и длительное воздействие на используемые при этом земли, доступность потребляемых ресурсов, и затрагиваемые экосистемы. На первый взгляд кажется очевидным, что эти воздействия должны быть включены в полные затраты на производство электроэнергии как дополнительные внешние издержки, появляющиеся сверх издержек на уровне электростанции и энергосистемы. Однако при более внимательном анализе становится очевидным, что изменения в землепользовании и использование природных ресурсов в процессе производства электроэнергии являются наиболее неясными аспектами при подсчёте полных затрат. Это объясняется четырьмя причинами.

Во-первых, даже если такие воздействия могут быть существенными, точный характер изменений в землепользовании в значительной степени зависит от местных условий и технологий. Во-вторых, изучение воздействий на изменения в землепользовании также представляет собой существенную методологическую проблему для полного учёта затрат, поскольку торговля большей частью земли фактически осуществляется в частном порядке, тогда как государственные земли подпадают под действие строгих правил в странах ОЭСР. Таким образом, интернализация большинства затрат на изменения в землепользовании уже произведена путём изменения стоимости имущества на рынках торговли недвижимостью или посредством существующих положений о землепользовании. Однако земли представляют собой как общественную, так и частную ценность. Как только изменения экосистемы и связанное с ними снижение общественной стоимости перестают учитываться при осуществлении частных сделок, последствия для землепользования действительно становятся внешними издержками на производство электроэнергии и предметом государственной политики.

В-третьих, некоторые внешние издержки на землепользование включены в другие категории полных издержек. Так, например, изменение климата с большой вероятностью приведёт к значительным последствиям для землепользования и экосистем. Однако такие последствия уже описаны в главе 4, посвящённой внешним издержкам, связанным с изменением климата. Некоторые особо тяжёлые последствия в области землепользования возникают в результате аварий, о чём идёт речь в главе 6. Разливы нефти, прорывы плотин и ядерные аварии приводят к разрушению экосистем и обустроенных земель. Произошедшие не так давно аварии на АЭС Фукусима-1 и разлив нефти на буровой платформе Deepwater Horizon наглядно продемонстрировали значительные негативные последствия аварий в энергетическом секторе на землепользование.

В-четвертых, землепользование является частью более широкой категории экосистем, не связанных с атмосферой, которая влияет на использование природных ресурсов, что преимущественно относится к экологическим внешним эффектам отличным от тех, действие которых распространяется воздушным путём (например, выбросы парниковых газов и загрязнение воздуха, о которых идёт речь в главах 4 и 5 соответственно). Наиболее значительными последствиями в этой категории, помимо последствий для землепользования, являются загрязнение вод и истощение природных ресурсов. При том, что влияние производства электроэнергии на качество воды очень ограничено за пределами горнодобывающей промышленности (см. ниже), истощение невозобновляемых источников энергии часто упоминается как вопрос, заслуживающий внимания со стороны политиков. Однако даже в данном случае остаётся неясным, в какой степени истощение природных ресурсов является настоящим внешним эффектом, или в каком объёме интернализация таких издержек уже произведена посредством механизма рыночных цен.

Указанные четыре причины способствуют тому, что оценка полных издержек, связанных с изменениями в землепользовании и истощением ресурсов, в целом будет давать несколько более широкие и менее точные результаты, чем при анализе издержек, связанных с воздействием на здоровье при загрязнении атмосферы или серьёзных авариях. Чтобы дать более ясное представление, землепользование и истощение природных ресурсов, которые хотя и являются взаимосвязанными на более глубоком уровне, рассматриваются в разных разделах.

7.2. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки. Землепользование

Оценка издержек, связанных с изменениями в землепользовании, представляет собой сложный процесс. Чёткое понимание затрат, связанных с изменениями в землепользовании на всех этапах воздействия, в настоящий момент отсутствует. Как правило, сложность заключается даже в качественном определении негативных воздействий на экосистему, не говоря уже об их оценке и денежном выражении. Ни в одном исследовании не представлены точные результаты денежной оценки полных издержек, связанных с конкретным изменением в землепользовании. Однако при более детальном изучении становится очевидно, что «территориальный отпечаток» (т. е. требования по землепользованию для разных технологий, измеряемые в квадратных метрах) является полезным, но очень неточным показателем степени серьёзности проблем, рассматриваемых в рамках государственной политики.

Потребность в определённой земельной площади является важным признаком воздействия конкретного источника электроэнергии, однако сама по себе она не входит в категорию общественных издержек. Разные типы земельных участков на разных территориях имеют совершенно разную значимость для общества. Теоретически, настоящая общественная стоимость земельного участка должна представлять собой денежный эквивалент готовности общества платить за него или готовности согласиться с определёнными изменениями в землепользовании. Существует целый ряд различных изменений в землепользовании, затраты по которым тесно связаны с характером расселения жителей и окружающей территории. Ещё одной проблемой государственной политики также является то, что в некоторых европейских странах щедрые зелёные тарифы для ветряных и солнечных электростанций действуют также как косвенные субсидии в сельскохозяйственном секторе, земли которого так или иначе более не приносят финансовой выручки на желаемом уровне.

Как уже указывалось ранее, многие изменения в землепользовании рассматриваются в рамках частных сделок на рынке недвижимости. Использование участка, который ранее служил пшеничным полем, в качестве угольной шахты не обязательно приводит к возникновению внешних издержек. Если права собственности чётко определены, владелец пшеничного поля будет учитывать изменение стоимости земельного участка на рынке торговли недвижимостью при определении дальнейшего назначения этого участка: будет ли он использоваться для выращивания пшеницы или для строительства жилых зданий или же будет продан горнодобывающей компании. На практике, конечно, более точным будет сказать, что владелец осуществляет интернализацию только *части* затрат. Например, владелец земельного участка не будет учитывать затраты на строительство дороги, ведущей к промышленному объекту, которая в будущем станет причиной уничтожения мест гнездования исчезающего вида птиц. Он или она также не будет учитывать затраты, связанные с утечкой воды во время строительства, которая приведёт к нарушению хрупкой заболоченной территории или же к утрате территории эстетической ценности для туристов, которые скорее предпочли бы посмотреть на обширные пшеничные поля, чем на угольную шахту или ветряную электростанцию. Фактически, всё это – примеры изменений в землепользовании, однако они не отражаются в стоимости имущества на рынках торговли недвижимостью. Лучше рассматривать участок земли как предложение ряда услуг, стоимость которых меняется с изменением участка, и которые называются «экосистемными услугами».

Вставка 7.1: Примечание по эстетической ценности

Особой проблемой при размещении энергетических объектов является потеря эстетической ценности земель. Например, ветроэнергетика (как в море, так и на суше), производство солнечной электроэнергии посредством установления солнечных панелей на крыше и генерация электроэнергии, использующая энергию приливов, в значительной степени зависят от местоположения и, таким образом, могут портить вид на ценные природные ландшафты, а также снижать привлекательность для жителей и посетителей. В мире без транзакционных издержек интернализация социальных издержек, связанных с изменениями эстетической ценности, может считаться произведённой через рынок посредством последующих изменений в стоимости недвижимости, обусловленных размещением ветряной электростанции, солнечных модулей или приливной электростанции. Исследование установления цены с учётом комфортности окружающей среды может пролить свет на влияние объектов, вырабатывающих электроэнергию, на стоимость недвижимости. Однако это касается только жителей. Предпочтения туристов, случайных посетителей и сторонников охраны природы, в той степени, в которой их неудовольствие по поводу эстетической деградации не переводится в денежное выражение за счёт воздействий на местную экономику, остаются в этом контексте без внимания.

Эстетические проблемы не ограничиваются возобновляемыми источниками электроэнергии. Тем не менее, производство электроэнергии, которое не зависит от местоположения, как, например, на основе ископаемого топлива и ядерной энергии, размещается в районах, где влияние на стоимость недвижимости или естественные пейзажи ограничено. Отдельно стоящее исследование установления цены недвижимости с учётом комфортности окружающей среды показало, что ядерная авария в 1979 году на АЭС Три-Майл-Айленд не оказала ни положительного, ни отрицательного влияния на стоимость недвижимости вблизи атомных электростанций (Гембл и Доунинг (*Gamble and Downing*), 1982).

Определяя ценность экосистемных услуг, экологи-экономисты концентрируются на предельной готовности (согласии) платить за положительное (отрицательное) изменение стоимости экосистемных услуг. Нет смысла пытаться оценить абсолютную ценность экосистем. По результатам известного исследования, проведенного Костанзой и др. (*Costanza et al., 1997*), общая стоимость мировых экосистемных услуг была оценена в 33 триллиона долларов США в год. Учитывая, что сюда входят незаменимые элементы жизнеобеспечения, такие как чистая питьевая вода, экономист Майкл Томан (*Michael Toman*) (1997), как известно, отметил, что это представляет собой «серьезную недооценку бесконечности». Таким образом, любой анализ оценки экосистем должен быть сосредоточен на незначительных изменениях экологических функций. ОЭСР (2006) рекомендует определять ключевые товары и услуги, степень необратимости и географический охват, устанавливать права собственности, оценивать товары и услуги как независимые друг от друга, и, наконец, анализировать любые очевидные взаимодействия между услугами, чтобы, исходя из этого, делать соответствующие выводы. Методы определения готовности или согласия платить представлены в главе 1, такие как метод транспортно-путевых затрат, условной оценки и установления цены с учётом комфортности окружающей среды. Последний метод особенно интересен в данном контексте, поскольку он может использоваться для выявления взаимосвязей между ценами на рынке недвижимости и определёнными индикаторами уровня экосистемных услуг. В целом, однако, изменения в уровне экосистемных услуг определяются менее чётко, являются более размытыми и менее изученными, чем, например, издержки, связанные с влиянием загрязнения воздуха на заболеваемость и смертность. В случаях, когда возможны сравнения в денежном выражении, уровень последних, необходимо отметить, также на порядок выше первых.

Несмотря на то, что оценка незначительных изменений в экосистемных услугах остаётся методологически приемлемым способом оценки изменений в землепользовании, основные цифры по «территориальному отпечатку» по-прежнему остаются предметом интереса для политиков и широкой общественности. Несмотря на отсутствие единицы измерения социальной стоимости, показатели потребностей в земельных ресурсах, такие как «земельный отпечаток», преобразование земель или использование земельных ресурсов в год и за ГВт·ч на душу населения, предусматривают прямые и легко измеримые количественно оценки. Концепция использования земельных ресурсов выявляет важный динамический аспект: требования топливного цикла, связанные с землепользованием, могут со временем меняться. Это является ключевым различием между источниками электроэнергии, которые зависят от извлекаемых ресурсов (ископаемое топливо, атомная энергия, биомасса) и источниками, которые не зависят от них (ветровая, солнечная, приливная, геотермальная энергия и гидроэнергия). Со временем в первом случае должна продолжаться добыча или разработка топливных ресурсов для обеспечения выработки электроэнергии, а во втором случае после строительства инфраструктуры необходимость в дальнейшем преобразовании земель исчезает (Фтенакис и Ким (*Fthenakis and Kim*), 2009).

Среди исследований землепользования в секторе электроэнергетики часто приводится исследование первичных данных, проведенное Фтенакисом и Кимом (2009). В ходе исследования были проведены оценки жизненного цикла землепользования для топливных циклов возобновляемых источников энергии, а также для угольного, ядерного и топливного цикла природного газа. Несмотря на то, что исследование с точки зрения жизненного цикла играет важную роль, определение рамок анализа является ключевым фактором, благодаря которому объём исследования не выходит за обозначенные пределы.

Схемы землепользования различных источников энергии

Обычно имеет смысл делать отличия между моделями землепользования возобновляемых источников и невозобновляемых источников, особенно в динамической перспективе. Так, коэффициент использования земельных ресурсов для невозобновляемых источников, особенно ископаемого топлива, зависит от темпа извлечения топлива относительно степени экологического восстановления земли, на которой была построена шахта. Таким образом, уровень землепользования увеличивается вместе с уровнем производства электроэнергии. В случае возобновляемых источников, таких как ветровая, солнечная энергия или энергия на основе биомассы, по завершению строительства объекта рост уровня землепользования прекращается. Чем больше часов в год один из данных источников используется для производства электроэнергии, тем меньше потребность в земельных ресурсах на ГВт·ч (Фтенакис и Ким, 2009). В то время как возобновляемым источникам энергии присущ постоянный уровень использования земельных ресурсов на протяжении всего времени выработки электроэнергии, изменение потребностей в земельных ресурсах как количественно, так и качественно является более значимым, чем в случае невозобновляемых источников энергии. Ветряные и солнечные электростанции уникальны тем, что в процессе производства электроэнергии земли, на которых они располагаются, могут использоваться и в других целях. Ключевые особенности различных технологий представлены ниже.

Уголь

Поскольку уголь является крупнейшим в мире источником электроэнергии, доля которого составляет 40 % от общего объёма генерируемой электроэнергии, добыча угля представляет собой широкую отрасль промышленности, имеющую значительные потребности в земельных ресурсах и оказывающую воздействия на окружающую среду. Данные отличительные черты превосходят аналогичные характеристики других видов топлива, главным образом, из-за добычи угля в открытых карьерах, также известной как добыча открытым способом. Подземная добыча угля, хоть и является более распространённым методом, в меньшей степени влияет на земли.

Как правило, при открытой добыче уничтожается верхний слой грунта, удаляется весь растительный покров и изменяется ландшафт. Открытая разработка нагорных месторождений является методом, характерным для местностей с крутыми подъёмами и спусками, таких как район Аппалачей в Соединенных Штатах Америки, где горные вершины разрушаются с использованием большого количества взрывчатых материалов, а избыточные породы высыпаются в прилегающих долинах. Исследования окружающей среды показали, что открытая разработка нагорных месторождений приводит к увеличению уровня содержания минеральных элементов в воде, перекрытию водотоков, разделению лесов, снижению качества грунта и разрушению всего биоценоза в бассейнах рек, расположенных в районе шахты (КЯР, 2010). В большинстве стран по завершению добычи от предприятий требуется восстановление земель (например, закон 1977 года «О рекультивации земель при открытых разработках месторождений полезных ископаемых» в Соединенных Штатах Америки), т. е. приведение площадок в их предыдущее состояние или в состояние, позволяющее более эффективное использование (т.е. улучшение экосистемных услуг и увеличение их количества). Однако Фтенакис и Ким (2009) отмечают, что изначальным ландшафтом множества районов открытой разработки нагорных месторождений является естественный лес, восстановление которого займёт от 200 до 300 лет. Восстановление в других районах может быть происходить более быстрыми темпами, например, в штате Вайоминг и в отдельных районах Германии.

Наибольшим риском экологического ущерба при подземной добыче является обрушение шахты и плавное оседание грунта, что может негативно повлиять на миграцию грунтовых и подземных вод и, таким образом, на функции экосистемы региона. Кроме того, значительными проблемами для окружающей среды остаются пожары на шахтах, отвод кислых вод и удаление отходов. При сравнении с другими видами энергетики, потребности в земельных ресурсах действующей угольной электростанции являются достаточно ограниченными.

Нефть и природный газ

Как в случае использования нефти, так и природного газа, потребности в земельных ресурсах ниже, чем в угольной энергетике, так как бурение скважин не оказывает такого же влияния на земли, как операции, применяемые в горнодобывающей промышленности. Кроме того, значительная часть добычи нефти и газа происходит в море, при этом нет непосредственной потребности в земельных ресурсах, хотя такая добыча, со своей стороны, также влечёт за собой негативные последствия для окружающей среды. Также следует отметить, что объём производства электроэнергии с использованием нефти является незначительным и идёт на спад.

В целом «территориальный отпечаток» в отношении газа является меньшим, чем в случае нефти. Газовая скважина использует около 5 акров (0,02 км²) земли, в то время как для каждой нефтяной скважины требуется 50 акров (0,2 км²) (КЯР, 2010). Несмотря на существенную разницу, это намного меньше, чем потребность в земельных ресурсах для добычи угля. Технологии по разведке и добыче нефти и газа сопоставимы. Во время строительства скважины происходит эрозия почвы, а подготовка обсадки скважины иногда может приводить к утечкам в грунтовые воды или к поверхностным утечкам. Кроме того, сточные воды со всех точек, расположенных выше места генерации, могут попадать в грунтовые или поверхностные воды. Сейсмические воздействия также являются проблемой.

Большинство операций по добыче нефти и газа выполняются в море, где выброс отходов производства и отработанных вод может нанести серьёзный вред океаническим экосистемам. Как рыбы, в том числе промысловых видов, так и птицы испытывают на себе влияние токсичных металлов и нефтепродуктов, содержащихся в этих отходах. Несмотря на то, что прямые потребности в земельных ресурсах незначительны, была установлена связь между ухудшением состояния береговых земель и операциями по добыче нефти в открытом море, что тем самым подчеркнуло значительное косвенное влияние на земли (КЯР, 2010).

Трубопроводы для транспортировки нефти и газа также характеризуются значительным уровнем землепользования. Даже если их большая часть расположена под землёй, её состояние над данными трубопроводами часто ухудшается (Фтенакис и Ким, 2009).

Ядерная энергия

Даже если ядерная энергия является невозобновляемым источником, она сильно отличается от ископаемого топлива тем, что добыча урана имеет значительно меньшие масштабы, чем добыча угля или добыча нефти и газа. Как правило, потребности в земельных ресурсах при добыче урана даже не учитываются в общих земельных потребностях атомной энергетики, так как большинство поставок урана осуществляется всего из нескольких очень обширных и малонаселённых стран, таких как Австралия, Канада и Казахстан. Уровни величины значимым образом отличаются друг от друга. При том, что в 2012 году было произведено 58 816 тонн урана (АЯЭ, 2014b), за этот же промежуток времени в мире было произведено 6,9 миллиардов тонн паровичного и коксующегося угля и 890 миллионов тонн бурого угля (МЭА, 2014a).

В основном для добычи урана используется технология, называемая подземным скважинным выщелачиванием (ПСВ), при которой раствор для выщелачивания урана прокачивается через скважины и затем откачивается обратно. Двумя другими основными процессами добычи являются обычная подземная добыча и открытая выработка. В результате последней образуется большое количество пустой породы, и, таким образом, оказывается значительное воздействие на поверхность земель. В случае ПСВ основной экологической проблемой являются воздействия на грунтовые воды в результате возможных утечек или разливов, а также закачивание производственных отходов в глубокие скважины (КЯР, 2010; АЯЭ 2014b).

Хранение отходов может осуществляться на землях с небольшим количеством экосистемных услуг, где экологический ущерб может быть сведён до минимума. Глубокое подземное хранение также подразумевает, что фактическая площадь поверхности, которая теряется для альтернативного использования, значительно меньше площади, необходимой для поверхностного хранения. Однако для репозитория Юкка Маунтин, вероятно, потребуется площадь в 60 700 га (607 км²), которая практически навсегда будет изолирована от населения для удовлетворения лицензионных требований (Фтенакис и Ким 2009). Поддержание зон долгосрочного захоронения радиоактивных отходов действительно увеличит потребности в земельных ресурсах ядерной энергетики.

Ветровая энергия

Ветровая энергия, доля которой в мировом производстве электроэнергии, по прогнозам, быстрее всех увеличится в ближайшие десятилетия, уже широко используется во всем мире, в частности на суше (МЭА, 2014a). В отличие от других источников электроэнергии, ветровая энергия никогда не использует все земли, которые занимает ветряная электростанция. Используется только от 1 % до 10 % земель, в зависимости от характеристик площади, занимаемой электростанцией. Кроме того, земли, занимаемые ветряными электростанциями, как правило, могут и дальше использоваться, как и ранее, например, для пастбищного животноводства или сельского хозяйства.

Внедрение ветряных установок представляет собой важную проблему с эстетической точки зрения, поскольку оно приводит к снижению стоимости недвижимости в соответствующих зонах, как в случае наземных, так и в случае морских ветряных электростанций. Действительно, такой эффект можно считать основным изменением в землепользовании в случае морских ветряных электростанций, которые, по мнению критиков, умаляют достоинства ландшафта и прибрежных пейзажей, а также снижают стоимость недвижимости в районах, имеющих рекреационную ценность, и, особенно, на побережье моря.

Солнечная энергия

В солнечной энергетике применяются две основные технологии: фотоэлектрические панели и установки концентрированной солнечной энергии (КСЭ). Первая является самым распространенным источником для производства солнечной энергии (139 ГВт установленной мощности по сравнению с 3,4 ГВт для второй технологии) и была главным предметом исследований в области потребностей в земельных ресурсах (REN21, 2014). Большинство мощностей по производству солнечной энергии было установлено в последние десять лет, а в последние годы наблюдается стремительный рост использования фотоэлектрической энергии в результате резкого снижения закупочных затрат. Потребности в земельных ресурсах являются существенными как для фотоэлектрических панелей, так и для площадок КСЭ: размещение модулей, обеспечение доступа для технического обслуживания и предотвращение затенения. Потребность в земельных ресурсах на ГВт·ч является одинаковой как для фотоэлектрических панелей, так и для площадок КСЭ (Фтенакис и Ким, 2009; Онг и др. (Ong *et al.*), 2013). Кроме того, в отношении солнечных энергоустановок коммерческого масштаба в ходе исследований не было выявлено существенной взаимосвязи между эффективностью землепользования и размером электростанций, ни принимая во внимание мощность (например, ватт на квадратный метр), ни основываясь на объёме выработки электроэнергии (например, кВт·ч на квадратный метр) (Эрнандес и др. (Hernandez *et al.*), 2014; Онг и др., 2013).

Тем не менее, потребность в земельных ресурсах на ГВт·ч, как правило, меньше, чем для ветряных установок, однако солнечные панели оказывают гораздо более концентрированное воздействие. Кроме того, использование крупномасштабных солнечных панелей ограничено определёнными регионами с высоким уровнем солнечного излучения, например, юго-западной частью США и Испанией. Часто показатели землепользования являются низкими в регионах, где больше всего развивается производство солнечной энергии, т. е. в засушливых регионах с относительно небольшой долей сельского хозяйства и растительности. Применение фотоэлектрических панелей, установленных на крышах, также быстро расширяется. Преимущество заключается в отсутствии каких-то особых потребностей в земельных ресурсах. Эстетические вопросы, связанные с фотоэлектрическими панелями на крышах, играют определённую роль, но считаются маловажными.

Отработавшие фотоэлектрические панели могут привести к образованию большого количества отходов, в основном состоящих из токсичных металлов, например, кадмия, которые могут попадать в почву и воды и наносить ущерб функциям экосистемы и системе водоснабжения близлежащих населённых пунктов. Панели могут перерабатываться, что уменьшит их воздействие на окружающую среду, но увеличит затраты в течение жизненного цикла (КЯР, 2010).

Гидроэнергия

Маловероятно, что использование гидроэнергии, крупнейшего возобновляемого источника электроэнергии, будет в дальнейшем развиваться существенным образом в странах ОЭСР по двум причинам. Во-первых, наилучшие соответствующие площадки уже разработаны, а, во-вторых, в настоящее время существует серьёзная общественная обеспокоенность в связи с крупномасштабными изменениями в землепользовании, вызванными плотинами гидроэлектростанций. Фактически, издержки, связанные со значительными воздействиями на землепользование и экосистемы при создании водохранилищ для плотин гидроэлектростанций, являются основными внешними издержками. Однако не все гидроэлектростанции имеют водохранилища. Руслевые плотины, которые к тому же, как правило, имеют намного меньший размер, часто занимают незначительную территорию, поскольку создание водохранилища в этом случае не требуется. В то время как такие плотины не препятствуют постоянному течению реки и обеспечивают вращение турбины, они могут оказывать воздействие на экосистему из-за снижения скорости потока воды и риска эвтрофикации (перенасыщения удобрениями и другими биогенными элементами, приводящему к чрезмерному цветению водорослей).

Между плотинами гидроэлектростанций водохранилищного типа имеются существенные различия. Несмотря на то, что все они основаны на потенциальной энергии воды водохранилища, некоторые из них представляют собой протяжённые в длину и ширину, большие зоны затопления, в то время как другие, в частности, расположенные в горных районах, часто имеют большую глубину при меньшей длине, что требует меньшей площади (Фтенакис и Ким, 2009). Последствия создания водохранилища могут быть весьма существенными, поскольку они препятствуют любым альтернативным формам землепользования. Кроме того, меняется течение реки, образуется огромное количество обломков пород и существует возможность уничтожения культурных объектов, исторических ландшафтов, а также водных и наземных экосистем (ЕС, 1995). Увеличение полных издержек на производство электроэнергии в результате изменений в землепользовании всегда зависит от особенностей объекта и местных условий. Это не относится ни к одной другой технологии, кроме гидроэнергетики.

Биомасса

Термин исходного материала биомассы является обобщающим и включает в себя различные источники, которые также значимым образом сконцентрированы в определённых зонах. Для производства электроэнергии исходный материал биомассы превращают в жидкость или газ, как правило, в случае использования пищевых культур, таких как кукуруза или соя, или сжигают в первоначальном состоянии, если речь идёт о древесных культурах, таких как ива или тополь. Даже если ожидается, что эта доля будет расти в ближайшие десятки лет, следует отметить, что в 2012 году только 2,8% спроса на первичную энергию из биомассы приходилось на производство электроэнергии (МЭА, 2014). Биомасса также играет небольшую роль в электроэнергетическом секторе: её доля в мировом объёме выработки электроэнергии в 2012 году составила лишь 1,9% (МЭА, 2014b). В настоящее время наибольшим спросом пользуются твёрдая древесная биомасса, сельскохозяйственные остатки и отходы для отопления. В то же время значительная часть более сложных видов биотоплива используется для транспортных средств. Таким образом, воздействие биомассы на землепользование выходит за пределы электроэнергетического сектора.

Изменения в землепользовании являются основной составляющей полных затрат на биомассу. Среди возобновляемых источников это единственный, осуществляющий данные воздействия преимущественно до, а не на стадии генерации электроэнергии. В большинстве случаев можно считать, что интернализация изменений в землепользовании для коммерческих энергетических культур проведена. Фермеры будут выращивать энергетические культуры вместо пищевых на специально предназначенных для этого сельскохозяйственных землях в соответствии с собственной сметой расходов и прибылей. Однако существуют опасения, что использование земель для выращивания

субсидированной биомассы может привести к сокращению площадей, предназначенных для выращивания пищевых культур, и, таким образом, поставить под угрозу продовольственную безопасность. Так, меры по поддержке биотоплива, которое в основном используется транспортными средствами, были признаны отрицательными из-за резких скачков цен на продукты питания в 2007 и 2008 годах (ОЭСР, 2015).

Потребности в земельных ресурсах для определённой единицы выработки биологической электроэнергии зависят от скорости роста культуры, который, в свою очередь, зависит от почвы, климата, флоры и фауны, имеющихся в этом районе, и других факторов. Выращивание пищевых культур для преобразования в биотопливо (например, этанол) на нефтеперерабатывающем заводе (для последующего сжигания на электростанции) будет иметь последствия, отличные от последствий землепользования при выращивании древесных культур для прямого сжигания. Кроме того, эффективность процессов выработки биологической электроэнергии бывает разной: в то время как из древесных культур можно получить большее количество биомассы на единицу площади в сравнении с пищевой культурой, такой как кукуруза или соя, процессы, связанные с биотопливом, например, сжигание этанола, как правило, позволяют преобразовать более высокий процент энергии, содержащейся в биомассе, в электроэнергию (Фтенакис и Ким, 2009).

Выращивание коммерческих культур биомассы для производства электроэнергии также может заменить ландшафты, имеющие более медленные темпы восстановления, например, леса. В таких случаях объём экосистемных услуг и внешних издержек снижается. В то время как общая площадь, покрытая лесами и лесными угодьями, в странах ОЭСР практически не изменялась в течение последних 50 лет, площадь мирового лесного покрова продолжает уменьшаться в результате постоянной вырубки. Особенно беспокоит то, что это касается наиболее сложных в мире экосистем – тропических дождевых лесов. Сочетание быстрого экономического роста и слабого экологического регулирования приводит к тому, что такие страны, как Бразилия, Индонезия и Малайзия удовлетворяют растущий спрос на продовольствие и энергию путём преобразования лесных площадей в сельскохозяйственные угодья (ОЭСР, 2015). Вырубка леса под пахотные угодья является одним из основных движущих факторов деградации экосистем и потери среды обитания во всём мире. Путём уничтожения поглотителей углерода вырубка леса также усиливает антропогенное воздействие на изменение климата (ОЭСР, 2012 и 2015).

Геотермальная энергия

В настоящее время геотермальная энергия играет незначительную роль в производстве электроэнергии, на её долю в 2012 году пришлось всего 0,3% мирового объёма (МЭА, 2014b). Это связано с ограничениями, связанными с местоположением источников геотермальной энергии и редкостью зон, в которых температура у поверхности земли находится в диапазонах, соответствующих критериям, необходимым для производства электроэнергии. Усовершенствованные геотермальные системы (УГС), в которых вода закачивается в грунт для нагрева в местах с низкой проницаемостью, могли бы расширить масштабы использования, но увеличение стоимости глубокого бурения, вероятно, ограничит долю геотермальной энергии в производстве электроэнергии. Однако она может быть важным местным энергетическим источником. В сравнении с другими возобновляемыми и невозобновляемыми источниками, потребности в земельных ресурсах для геотермальной энергетики довольно низкие.

«Земельный отпечаток» традиционной гидротермальной установки, для которой используется горячая вода, заливаемая в землю для работы турбины, зависит от особенностей площадки и, в частности, от процесса, используемого для эвакуации отработанной воды, например, обратное закачивание в пласт. В то время как электростанции строятся рядом с источником тепла, поскольку расстояние снижает температуру теплоносителя и, следовательно, эффективность процесса, поля для бурения могут охватывать большую площадь. Таким образом, рядом с одним и тем же источником часто производится бурение многочисленных скважин. Сама электростанция с градирнями и подстанцией имеет относительно небольшие размеры, а трубопроводы, как правило, монтируются таким образом, чтобы землю можно было использовать в качестве пастбищ или выращивания сельскохозяйственных культур. Фактически, земли, расположенные над многими месторождениями термальных вод, используется для тех же целей, что и ранее, за исключением площади, занятой самой электростанцией (Мок и др. (Mock et al), 1997). Наличие скважин и трубопроводов играет большую роль; их учёт может быть причиной увеличения объёма землепользования в три раза (Тестер и др. (Tester et al.), 2006).

Изменения в землепользовании могут быть существенными: если объём забора теплоносителя превышает объём восполнения, это может вызвать оползни и сейсмическую активность. Однако точную причину воздействия на землепользование и экосистемы трудно объяснить, поскольку районы с гидротермальным потенциалом часто имеют высокий уровень естественной сейсмической активности. Гидротермальные установки нарушили или разрушили целостность некоторых зон естественной геотермальной активности, например, гейзерных полей или районов с горячими источниками (Кристандоттир и Армансон (Kristmannsdóttir and Armannsson), 2003). Воздействие буровых работ на земельные ресурсы может быть в значительной степени смягчено после начала производства.

Отработанные воды представляют собой серьёзную экологическую проблему, связанную с геотермальной энергетикой, поскольку они могут попадать в естественные водотоки, повышать

температуру воды и влиять на живую природу. Однако в более сложных системах отработанные воды также можно использовать для отопления домов или в промышленных целях (Кристансдотир и Армансон, 2003). Другие стратегии по минимизации экологического ущерба от геотермальных отработанных вод включают обратное закачивание в пласт и применение замкнутых циклов (Мок и др., 1997).

Приливная энергия

Использование кинетической энергии приливов и волн для производства электроэнергии обладает огромным потенциалом в некоторых регионах, но в настоящее время слабо развивается. В настоящее время проводятся испытания установок как в открытом море, так и в береговых зонах, но в любом случае уровень использования земель является минимальным или незначительным (ЕС, 2008). Для установки также требуется небольшая площадь, а любое воздействие, связанное со строительством, будет временным и обратимым. Исследования потенциального воздействия приливной энергии на флору и фауну океана ограничены, но береговые электростанции могут повредить чувствительные экосистемы, такие как места гнездования птиц. Следовало бы не строить энергетические объекты в таких зонах. Также могут возникать эстетические проблемы, подобные тем, которые связаны с ветровой энергией, что может отражаться на стоимости недвижимости. На интуитивном уровне понятно, что среди всех возобновляемых источников приливная энергия будет оказывать наименьшее влияние на земли.

7.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки. Истощение ресурсов

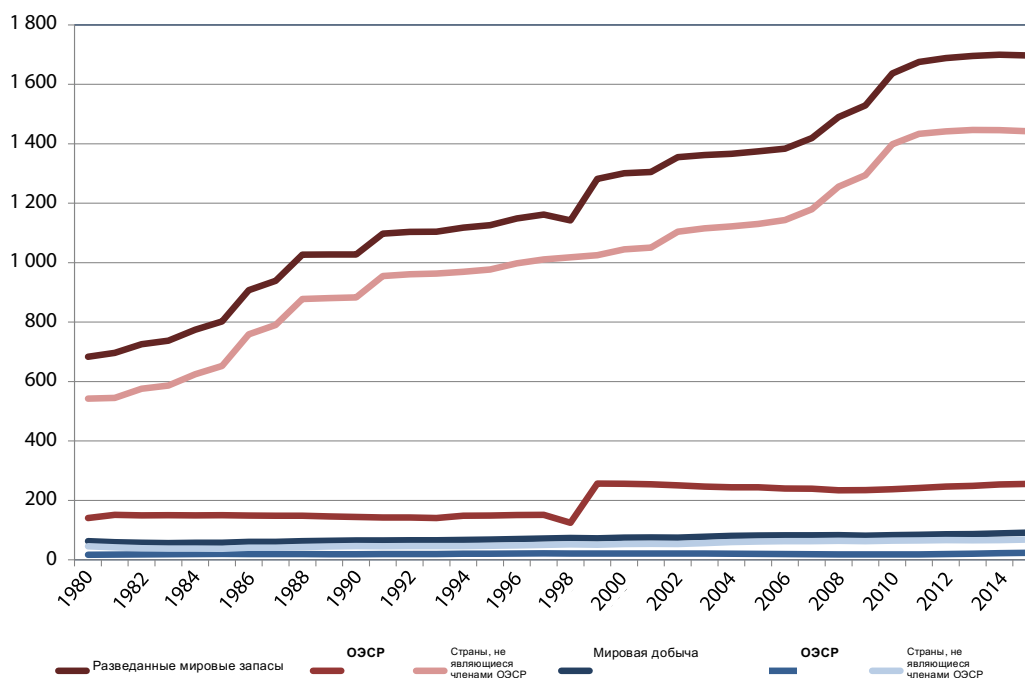
Истощение невозобновляемых природных ресурсов является сквозной темой обсуждения устойчивости экономического роста в целом и устойчивости различных источников энергии в частности. Основной вопрос заключается в том, адекватно ли рыночные цены отражают дефицит невозобновляемых ресурсов, которые включают земельные ресурсы, металлы и минералы и, что особенно важно в контексте полных затрат на производство электроэнергии, энергетических ресурсов, таких как нефть, газ, уголь и уран.

Обеспокоенность в отношении истощения ресурсов имеет знаменитую родословную. Уже в 1803 году священник Роберт Мальтус, которому через два года суждено было стать первым преподавателем политической экономики, в своем «Очерке о законе народонаселения» (*Essay on the Principle of Population*) написал, что экономический рост и рост численности населения ограничиваются наличием земли, пригодной для возделывания. Его опасения были вызваны быстрым увеличением численности населения и, следовательно, спроса на хлеб и зерновые на ранних этапах промышленной революции в Англии. Результатом такого развития стала бы стабильная экономика, где периодический голод поддерживал бы численность населения на уровне, который может выдержать существующий земельный фонд. Очевидно, что его опасения сошли на нет и что в 19 веке Англия имела более высокие темпы роста экономического благосостояния и численности населения, чем когда-либо прежде. Ключевым фактором явилось увеличение производительности в сельском хозяйстве благодаря использованию химических удобрений. Импорт зерна также сыграл важную роль.

Однако мрачные прогнозы Мальтуса, по причине которых экономика уже на тот момент получила прозвище «мрачной науки» (Томас Карлейль), с тех пор приобрели популярность. В частности, важным примером является влиятельный отчет Римского клуба (Медоуз и др. (*Meadows et al.*), 1972) с программным названием «Пределы роста» (*The Limits to Growth*). Экстраполируя существующие тенденции и используя зарождавшееся компьютерное моделирование, Римский клуб предсказал, помимо прочего, истощение запасов нефти к 2003 году в случае пессимистического прогноза и к 2022 году в случае оптимистического прогноза. Можно с уверенностью сказать, что их второе предсказание также не будет реализовано; см. рис. 7.1, на котором отображены доказанные запасы и добыча нефти, одного из самых символических природных ресурсов за последние 35 лет.

На рис. 7.1 показано, что за последние 35 лет доказанные запасы увеличились в значительно большей степени, чем добыча и потребление. Это значит, что коэффициент кратности запасов (КЗ), т. е. резервы определённого года, разделённые на объём добычи за этот год (что даёт период времени, в течение которого запасы будут сохраняться при непрерывной добыче), также увеличился. Другими словами, надёжность снабжения нефтью не уменьшилась, а значительно увеличилась за последние десятилетия. В случае других энергетических ресурсов ситуация является ещё более благоприятной (см. рис. 7.2).

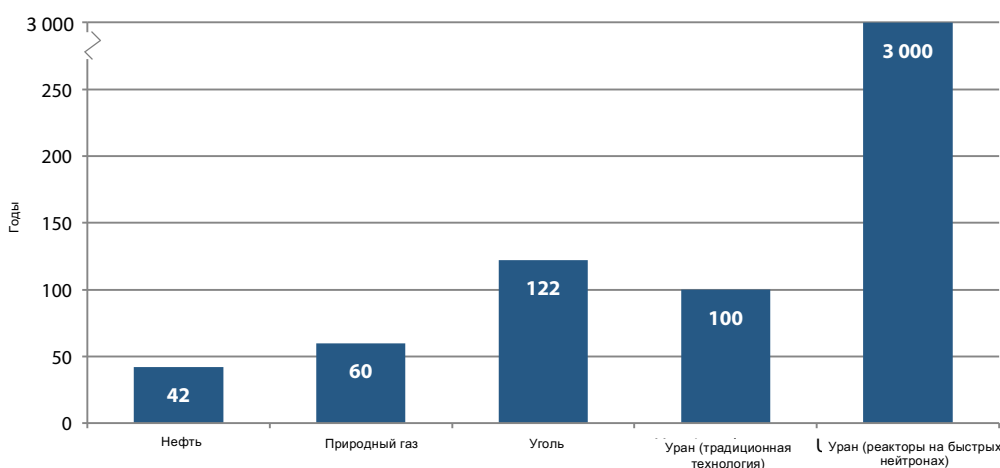
Рисунок 7.1: **Доказанные запасы нефти*** и добыча нефти за 1980-2015 гг.
(в миллиардах баррелей)



* Под доказанными запасами нефти, как правило, понимаются те количества, которые на основе геологических и технических данных с объективным уровнем уверенности могут быть в будущем извлечены из разведанных залежей при существующих экономических и эксплуатационных условиях. Данные не включают нефтеносные пески в Канаде и Венесуэле.

Источник: по материалам BP, 2017.

Рисунок 7.2: **Коэффициенты кратности запасов для некоторых энергетических ресурсов**



Источник: АЯЭ, 2010.

Другой, более актуальный пример необоснованных опасений по поводу доступности природных ресурсов касается «редкоземельных металлов», которые включают 15 элементов – так называемые лантаноиды, скандий и иттрий. Название «редкоземельный» – это неправильный термин, относящийся к 19 веку и употребляемый задолго до того, как стали известны полезные для промышленности свойства данных металлов. Большинство из них являются щелочноземельными металлами и на самом деле они достаточно широко распространены, но их добыча и отделение вызывают трудности. Это делает их

относительный дефицит как промышленного ресурса скорее краткосрочной экономической проблемой, чем долгосрочной геологической проблемой.

Пессимисты, обеспокоенные долгосрочным истощением экономически значимых природных ресурсов, как правило, не принимают во внимание два принципиально важных фактора в данном контексте:

1. Экономическая деятельность и рост зависят не от материально доступных ресурсов, а от экономически извлекаемых ресурсов. Доступные ресурсы, разумеется, являются истощимыми в некотором абстрактном физическом смысле, однако их объём также значительно превышает тот, который когда-либо будет использован. Между тем, экономическая извлекаемость – это функция технологии, спроса и трудности доступа. Иначе говоря, здесь вступают в действие экономические силы и интернализация дефицита, который является функцией трудности доступа, надлежащим образом произведена.
2. Многие, если не большинство, экономически значимых природных ресурсов могут перерабатываться или замещаться. В энергетическом секторе переработка ограничивается ураном в атомной энергетике, в то время как ископаемое топливо необратимо сжигается. В других промышленных секторах переработка металлов, таких как медь или сталь, играет важную роль. Однако, в случае ископаемого топлива важную функцию выполняет замещение. Это относится не только к потреблению, т. е. переходу от двигателей внутреннего сгорания на аккумуляторы, но и к добыче. Таким образом, процесс Фишера–Тропша может преобразовывать уголь (запасы которого имеются в изобилии с коэффициентом кратности запасов, охватывающим сотни лет) для начала в синтез-газ и затем в бензин. Безусловно, это повлечёт за собой значительные затраты, но экономический рост не будет ограничиваться дефицитом природных ресурсов, имеющих промышленную ценность.

Это не означает, что проблемы, связанные с истощением ресурсов, полностью отсутствуют. Однако они ограничиваются природными ресурсами, *не имеющими* промышленного значения. В соответствии с тем, что было сказано в главе 1, в той мере, в которой воздействия являются внешними, т. е. не принятыми во внимание участниками рынка, природные ресурсы могут быстро истощаться с большими потерями для общества и отдельных лиц. Примерами являются влажные тропические леса и местные экосистемы во всём мире. Это возвращает нас к вопросу о землепользовании и экосистемных услугах, которые предоставляют земли. С этой точки зрения можно также проанализировать изменение климата, что потребует учёта поглощающей способности земной атмосферы как невозобновляемого природного ресурса, истощаемого непрерывным выбросом большого количества парниковых газов (ПГ). После составления оценок затрат власти должны будут провести интернализацию стоимости таких ресурсов в полные затраты на экономическую деятельность, которая их истощает. Совершенно очевидно, что такие вопросы, связанные с изменением климата и влажными тропическими лесами, которые являются ключевым звеном в круговороте кислорода в природе на глобальном уровне, выходят за пределы государственных границ и их интернализация должна быть произведена благодаря трудоёмким, но необходимым международным переговорам.

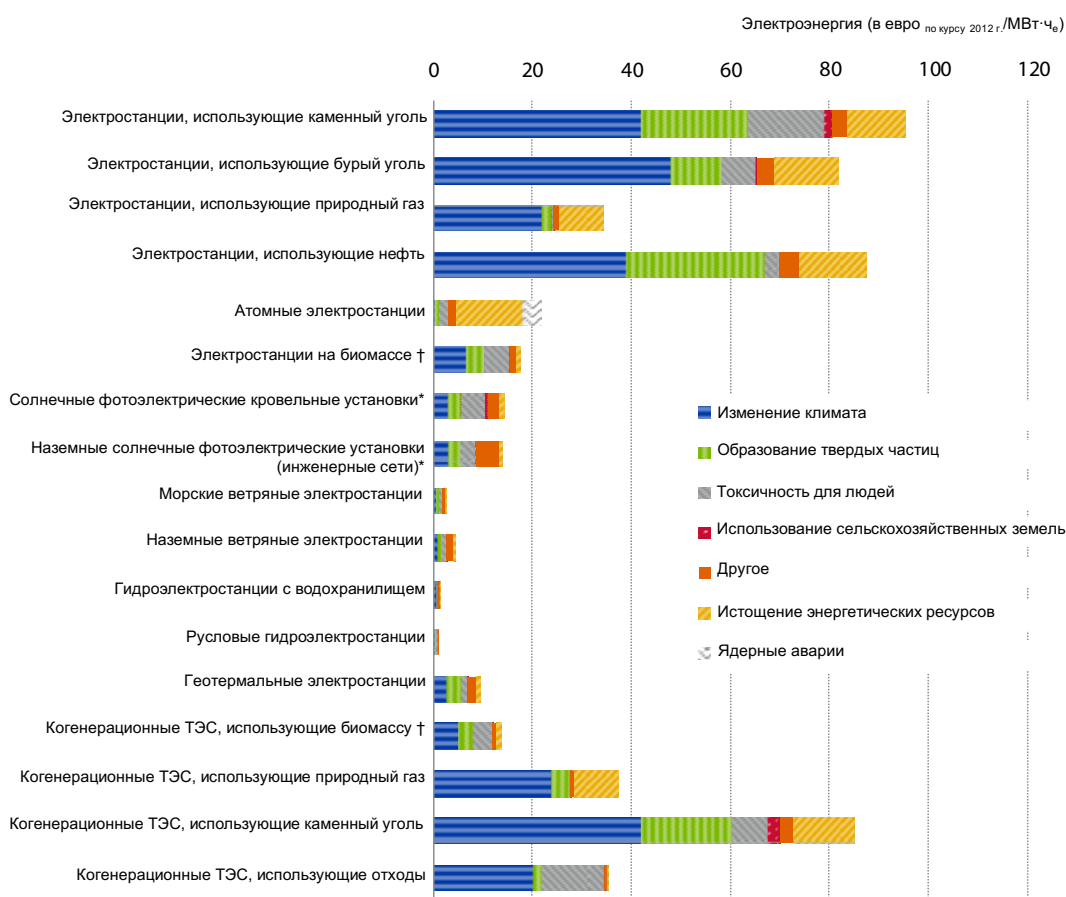
Однако в случае товаров, имеющих легкий сбыт, включая энергетическое сырьё, очень трудно доказать, что рынки чрезмерно используют существующие ресурсы. Широко известное исследование о полных затратах на электроэнергию, подготовленное для Европейской комиссии экспертами Eсоfys (2014), является наглядным тому примером. В расчётах, приведённых в исследовании, были учтены социальные издержки на истощение не подвергшихся интернализации ресурсов на уровне, находящемся в диапазоне от 9 евро до 14 евро, для газа, угля, нефти и атомной энергии на произведенный МВт·ч (Eсоfys, 2014: с. 37) – см. рис. 7.3. При сравнении с другими секторами атомная энергетика показывает достаточно хорошие результаты, учитывающие её высокие показатели с точки зрения рисков, связанных с изменением климата и качеством воздуха (образование твёрдых частиц).

Тем не менее, учёт существенных внешних эффектов истощения ресурсов вызывает удивление. Сокращения не происходит, вместо этого наблюдается увеличение доказанных запасов всех четырёх видов природных ресурсов. Кроме того, в случае коммерчески продаваемых товаров, участники рынка должны учитывать в стоимости все данные. Так, в широко известном правиле Хотеллинга (см. подробное обсуждение ниже) говорится о том, что на конкурентных рынках стоимость ресурсной ренты, являющейся основным компонентом цены, увеличивается в зависимости от ставки дисконтирования. Авторы утверждают, что внешние эффекты истощения ресурсов существуют, так как истощение запасов газа, угля, нефти и урана прогрессирует быстрее социально-оптимального уровня, по причине того, что «владелец истощимых запасов природных ресурсов имеют ставки дисконтирования, значительно превышающие социально-оптимальный уровень» (Eсоfys, 2014: с. 38). Однако это возвращает нас к

предыдущему аргументу. Если рассматриваемые товары полностью являются продаваемыми, частная рыночная ставка дисконтирования является адекватным параметром.

Рисунок 7.3: **Внешние издержки, включая затраты, связанные с истощением ресурсов, для различных технологий производства электроэнергии**

(Средневзвешенная величина для стран-членов ЕС, в евро/МВт·ч)



Источник: Ecofys, 2014. с. 37.

* Ecofys утверждает, что значения для солнечных фотоэлектрических установок с большой вероятностью завышены по причине высокого темпа технологического развития данной технологии, где имеет место улучшение показателей эффективности и уменьшение воздействий на ранних стадия жизненного цикла.

† Предполагается, что биомасса получена только из сельскохозяйственных/древесных отходов, т. е. без учёта биомассы, полученной из энергетических культур.

Необходимо напомнить, что аргументы в пользу социальных издержек, не учитываемых участниками рынка частных заказов, могут быть использованы только в том случае, если существуют выгоды от использования природных ресурсов, которые не учитываются рынками. Это огромная область, включающая в себя снижение рисков, связанных с изменением климата, или предотвращение ухудшения здоровья населения и биоразнообразия. Однако некоммерческая выгода от добычи нефти, газа, угля и урана является несущественной по сравнению с их значимостью для производства электроэнергии, энергетических услуг или для химической промышленности. Кроме того, отсутствует информационная симметрия, так как рынки будут осведомлены лучше, чем власти в отношении наличия ресурсов и стоимости их добычи.

В случае отсутствия внешних эффектов и при соответствии частных рыночных издержек полным затратам, определение оптимальной цены исчерпаемых ресурсов обеспечивается правилом Хотеллинга,

которое гласит, что в условиях конкуренции ресурсная рента, т. е. рыночная цена ресурса минус затраты на его добычу, со временем увеличивается в соответствии со ставкой дисконтирования (см. Хотеллинг, 1931). Дисконтирование применяется, начиная с момента использования последней экономически ценной единицы ресурса. Это может быть связано с соответствующей технологией «back-stop», например, с использованием электромобилей вместо бензиновых автомобилей или с конечным потреблением рассматриваемого ресурса при максимально высоком уровне возможной оценки. В первом случае дисконтируется стоимость технологии «back-stop»; во втором случае - предельная полезность последней единицы. В действительности в обоих случаях эта единица не будет последней физически доступной единицей, так как, по мере повышения цен, в конечном итоге всегда будет иметь место замещение либо в добыче, либо в потреблении. Необходимо помнить важный принцип: «Последний баррель нефти никогда не будет добыт».

Интуитивное представление, лежащее в основе правила Хотеллинга, заключается в том, что исчерпаемый природный ресурс представляет собой актив, приносящий процентный доход и конкурирующий с другими активами. Если цены растут медленнее базовой ставки доходности капитала, владельцам исчерпаемого ресурса будет рекомендовано продавать большую долю ресурса и реинвестировать доходы по базовой ставке доходности капитала или, что эквивалентно, вложить их в банк для получения процентного дохода. Это приведёт к снижению действующих цен и обеспечит согласованность их соотношения с будущими ценами, окончательно определяемыми стоимостью технологии «back-stop», с базовой ставкой доходности капитала. И наоборот, если цены растут быстрее базовой ставки доходности капитала, тогда приобрести дополнительные объёмы ресурса или оставить его в земле будет более выгодно. Вследствие чего предложение будет уменьшаться, а действующая цена будет увеличиваться до тех пор, пока соотношение действующей цены и будущих цен не будет согласовано с базовой ставкой доходности капитала.

Несомненно, на практике ни один ресурс не имеет такой сглаженной ценовой траектории. Неопределённость, открытие новых месторождений, технологические изменения, геополитические аспекты, колебания спроса, а также спекуляция, хранение и монополия власть значительно влияют на цены. Самым главным является то, что процесс замещения, которое в рамках правила Хотеллинга действует по принципу «всё или ничего» в определённый день в будущем, происходит постоянно, используя множество различных способов. При чрезмерном росте цен на медь, переработка становится прибыльным видом деятельности. При чрезмерном росте цен на нефть, лица, совершающие регулярные поездки, пользуются общественным транспортом вместо личных автомобилей и т. д. Именно поэтому равномерно растущая траектория экспоненциального роста цен, вытекающая из правила Хотеллинга, редко или практически никогда не наблюдается в реальном мире. Однако несмотря на ограниченное эмпирическое обоснование, правило Хотеллинга обеспечивает прочную базу для общего понимания того, что в случае природных ресурсов, имеющих промышленную значимость, в конечном счёте, произойдёт интернализация всей экономически доступной информации посредством рыночных цен.

7.4. Перспективы интернализации

Управление экосистемами и охрана окружающей среды составляют самые ранние этапы реализации экологической политики. Ранние современные формы ведения экологической политики могут проследиться в методах лесного хозяйства, которые применялись в Британской Империи в восемнадцатом и начале девятнадцатого веков. Охрана природы и политика в области землепользования приняла свою нынешнюю форму в качестве основы основ современной экологической политики, которая появилась в 1960-х и 1970-х годах после того как стала главной темой в современном экологическом движении, получившем особенно бурное развитие в Соединенных Штатах Америки вслед за выходом «Безмолвной весны» Рейчел Карсон.

С учётом чётко определённого частного или общественного владения большинством наземных территорий, именно воздействуя на экосистемы, изменение землепользования становится внешним эффектом, который не был должным образом урегулирован изменениями внутри рынка. Административно-контрольные меры в виде строгих правил преобладают в политике землепользования во всех странах-членах ОЭСР. Местные и региональные власти часто имеют значительное влияние в сфере территориального зонирования, а также выдачи разрешений на некоторые виды деятельности на земельных участках. При этом национальные правительства часто осуществляют контроль за обширными территориями общественных и малоосвоенных земель, которые иногда являются национальными парками и заповедниками. Однако большинство видов и экосистем, находящихся под угрозой исчезновения, сосредоточено на землях частных землевладельцев, которые не несут социальных издержек за потерю экосистемных услуг и, таким образом, не имеют стимулов защищать их должным образом.

Именно тут вступают в силу ограничения по землепользованию. В Соединенных Штатах Америки основной мерой обеспечения соблюдения ограничений землепользования является закон 1973 года «Об исчезающих видах». Другой мерой является Программа восстановительной консервации сильноэродированных земель (CRP), реализуемая Министерством сельского хозяйства, в рамках которой американские фермеры получают выплаты за прекращение производства на землях, считающихся важными с точки зрения предоставления экологических услуг. CRP является хорошим примером программы «платежей за услуги экосистем», данная тема была широко исследована в странах ОЭСР (2010). CRP представляет собой самую обширную программу охраны природы в Соединенных Штатах Америки, которая считается значительно более экономически эффективной, чем схема единой цены или ограничений землепользования. В таких странах, как Канада и Австралия, также существуют природоохранные фонды для защиты среды обитания диких животных и растений.

В Европе планы развития землепользования остаются в компетенции соответствующей страны. Однако Европейская комиссия принимает участие в анализе воздействий на окружающую среду и согласовании стратегий, касающихся градостроения и развития прибрежных зон. Космическое пространство включено в качестве ресурса в тематическую стратегию по устойчивому использованию природных ресурсов Европейского союза (ЕАОС, 2015). В рамках ЕС была установлена цель прекращения сокращения биологического разнообразия и ухудшения экосистемных услуг к 2020 году. Данная цель подкреплена Директивами Европейского союза по охране диких птиц и мест их обитания, которые для достижения необходимых результатов основываются на фондах и ограничениях землепользования. Сельскохозяйственная политика ЕС также играет важную роль в принятии решений, касающихся землепользования в масштабах всего континента.

CRP в Соединенных Штатах Америки как программа «платежей за экосистемные услуги», переступает границу между схемами административно-контрольного регулирования и рыночной схемой, поскольку землевладельцы действительно получают оплату, ориентированную на интернализацию действий по охране среды обитания в процессе принятия решений, в отличие от прямого запрета определенных действий. Однако эти платежи поступают от федеральной власти, подразумевая тем самым, что подлинного рынка сред обитания, где частные владельцы обмениваются правами на охрану земельных ресурсов, не существует. Лучшим примером попытки создания «рынка землепользования» является банковское кредитование мер по смягчению ущерба, которое впервые появилось в Соединенных Штатах Америки, но было введено в других странах, например, в Австралии (для предотвращения исчезновения девственных лесов) и в Индонезии (для предотвращения эрозии почвы) (ОЭСР, 2010). В схемах банковского кредитования мер по смягчению ущерба, государственные органы определяют различные услуги, предоставляемые болотистой местностью или естественной средой обитания видов, находящихся под угрозой исчезновения, и как следствие количество кредитов, которые могут быть выданы для смягчения ущерба в соответствующей зоне. Данные кредиты могут затем продаваться на рынке.

Когда речь идёт о секторе электроэнергетики, первое, что требуется, это сбор и всесторонний анализ данных о потребности в земельных ресурсах и «территориальном отпечатке» разных вариантов производства электроэнергии. В настоящее время, экономика окружающей среды всё ещё находится далеко от правильной оценки влияния выработки электроэнергии на землепользование и экологические системы. Например, до сих пор не было произведено важных исследований в области землепользования, таких, какие были сделаны в области воздействия загрязнения воздуха на здоровье.

7.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Системы электроснабжения имеют большое влияние на земли, и в качестве основного компонента современной инфраструктуры являются основным предметом обсуждений, касающихся землепользования и воздействий на природные комплексы. Непосредственное регулирование землепользования, часто производимое посредством законов о территориальном зонировании на местном и региональном уровнях, является наиболее распространенной и наиболее широко используемой формой политики в области землепользования. Однако рыночные схемы, такие как схемы банковского кредитования мер по смягчению ущерба, использовались в некоторых странах, в попытках обеспечить отсутствие чистых утрат чувствительных экосистем, таких как девственные леса и болотные местности.

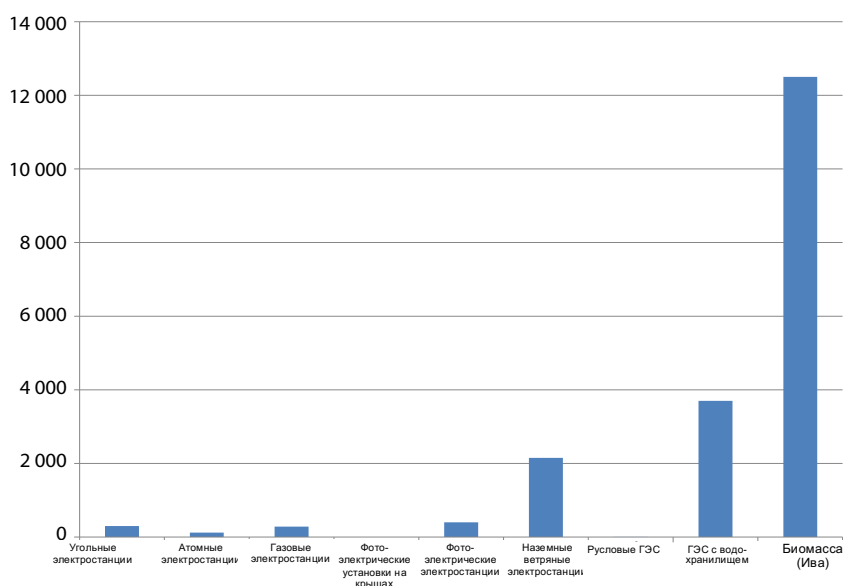
Оценка изменения землепользования представляется собой сложный процесс. Существует компонент изменения в землепользовании, в отношении которого чётким образом производится интернализация, выражающийся в изменении стоимости имущества на рынке недвижимости, связанном с изменением в землепользовании на землях имущественного объекта или расположенных рядом с ним. Наиболее значительными внешними издержками, связанными с изменением в землепользовании, являются воздействия на экосистемы природных территорий. Экосистемы могут рассматриваться как природный капитал, предлагающий услуги в течение продолжительного периода. В связи с тем, что выживание и развитие человечества неразрывно связано с существованием биосферы, бессмысленно

говорить об «общей ценности» экосистем мира в стандартном экономическом значении готовности общества платить. Незначительные изменения в функционировании этих экосистемных услуг, связанные с изменениями в землепользовании, и социальная оценка изменений в данных экосистемных услугах приведут, тем не менее, к определению общих издержек, связанных с изменениями в землепользовании.

Существующие недочёты в оценке экосистемных услуг привели к тому, что потребности в земельных ресурсах, в основе своей являющиеся выражением «территориального отпечатка», стали общепринятой единицей измерения в электроэнергетических системах при рассмотрении вопросов землепользования, которые в большинстве случаев сопровождаются анализом изменений качества земель. Большинство источников электроэнергии имеет значительные потребности в земельных площадях при рассмотрении всего топливного цикла, включая добычу, выработку электроэнергии и утилизацию отходов. Редкие публикации затрагивают вопрос оценки потребностей в земельных ресурсах в течение жизненного цикла, но они указывают на то, что уровень влияния на земельные ресурсы, оказываемого некоторыми невозобновляемыми источниками, является сопоставимым или превышает уровень влияния, оказываемого возобновляемыми источниками энергии (см. рис. 7.4). Каждый источник электроэнергии имеет свои тонкости влияния на ландшафт.

Рисунок 7.4: **Потребности в земельных ресурсах для разных технологий производства электроэнергии**

(Оценка жизненного цикла, включая горнодобывающую промышленность и транспорт, м²ГВт·ч)



Источник: по материалам Фтенакиса и Кима, 2009.

Возвращаясь к теме совершенствования политики, существует значительная разница между данными о потребностях в земельных ресурсах и пониманием того, как отдельно взятые лица производят оценку земельных ресурсов и соответствующих услуг. Для лучшей интернализации от этого недостатка необходимо избавиться. Также существуют чёткие руководящие принципы по созданию экономически эффективной, основанной на рыночных условиях, политики землепользования (программы «платежей за экосистемные услуги»). И наконец, даже с существующими на сегодняшний день преградами для понимания, власти не учитывают многие аспекты услуг, предоставляемых природными ландшафтами и экосистемами. Формирование способности надлежащим образом принимать во внимание качественную сторону окружающей среды в кругах, определяющих политику, является жизненно необходимым. В электроэнергетическом секторе это касается стратегии создания эффективного социального института, обеспечивающего обмен информацией и понимание вопросов, учитывающее самые последние технические и институциональные достижения, среди разных государственных органов, частных предприятий и общественных групп. Принятие во внимание окружающей среды, сделанное надлежащим образом, позволит принять более уравновешенные решения в сфере землепользования. Это особенным образом касается развивающихся стран, где находятся многие из самых хрупких, подверженных угрозе исчезновения и активных экосистем мира.

Несмотря на периодически высказываемые опасения, истощение невозобновляемых ресурсов, таких как ископаемое топливо и уран, не является основным вопросом при формировании политики, поскольку

торговля сырьём с высокой частной и малой дополнительной общественной стоимостью (нефтью, углем, газом и ураном) ведётся на крупных и ликвидных международных рынках, где информация о дефиците в долгосрочной перспективе широко известна и будет немедленно отражена в цене, если он когда-либо станет подлинной причиной для беспокойства. Фактические цены изменяются вследствие краткосрочных проблем со снабжением, связанных с инвестициями и событиями геополитического масштаба, а не в зависимости от доступности ресурсов в долгосрочной перспективе. С точки зрения разработки политики наилучшим решением проблемы истощения ресурсов является поддержание существующих рынков в условиях максимальной открытости и конкурентоспособности, а также обеспечение широкого распространения информации о наличии ресурсов.

Список литературы

- BP (2017), *Statistical Review of World Energy*, Section Oil, www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html.
- Costanza, R. et al. (1997), "The value of the world's ecosystem services and natural capital", *Nature*, Vol. 387, pp. 253-260.
- Dale, V., R. Efrogmson and K. Kline (2011), "The land use-climate change-energy nexus", *Landscape Ecology*, Vol. 26, pp. 755-773.
- Denholm, P., M. Hand, M. Jackson and S. Ong (2009), *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States*, NREL, USDOE, Oak Ridge, Tennessee.
- Diamond, P. and J. Hausman (1994), "Contingent valuation: Is some number better than no number?", American Economic Association, *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8/4, pp. 45-64.
- EC (2008), "Report on technical specification of reference technologies (wave and tidal power plant)", *New Energy Externalities Developments for Sustainability*, EC, Brussels.
- EC (1995), *ExternE: Externalities of Energy*, Vol. 1-6, EC, Brussels.
- Ecofys (2014), *Subsidies and Costs of EU Energy: Final Report*, Report for the EC, Brussels, Figure 3-8, <https://ec.europa.eu/energy/en/content/final-report-ecofys>.
- EEA (2015), *Land-use: policy context*, EEA, Copenhagen.
- Fthenakis, K. and H.C. Kim (2009), "Land use and electricity generation: A life-cycle analysis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, Issues 6-7, pp. 1465-1474.
- Gamble, H. and R. Downing (1982), "Effects of nuclear power plants on residential property values", *Journal of Regional Science*, Vol. 22, pp. 457-478.
- Hernandez, R., M. Hoffacker and C. Field (2014), "Land-use efficiency of big solar", American Chemical Society, *Environmental Science and Technology*, Vol. 48, pp. 1315-1323.
- Hotelling, H. (1931), "The economics of exhaustible resources", *Journal of Political Economy*, Vol. 39(2), pp. 137-175.
- IEA (2014a), *World Energy Outlook*, OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014b), *Electricity Information*, OECD/IEA, Paris.
- IPCC (2012), "Renewable energy in the context of sustainable development", *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, IPCC, Geneva.
- Keohane, N. and S. Olmstead (2007), "Market-based instruments in practice", Island Press, *Markets and the Environment*, pp. 182-206.
- Kristmannsdottir, H. and H. Armannsson (2003), "Environmental aspects of geothermal energy utilization", *Geothermics*, Vol. 32, pp. 451-461.
- Malthus, R. (1803, 1826), *An Essay on the Principle of Population*, 6th edition. www.econlib.org/library/Malthus/malPlong.html.
- Matheson, G. and L. Giroux (2010), "Capacity Development for Environmental Management and Governance in

- the Energy Sector in Developing Countries”, *OECD Environment Working Papers*, No. 25, OECD, Paris.
- Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers and W.W. Behrens III (1972), *The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books.
- Mock, J., J. Tester and P.M. Wright (1997), “Geothermal energy from the earth: Its potential impact as an environmentally sustainable resource”, *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 22, pp. 305-356.
- NEA (2014a), *Managing Environmental and Health Impacts of Uranium Mining*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2014/7062-mehium.pdf.
- NEA (2014b), *Uranium 2014: Resources, Production and Demand*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2014/7209-uranium-2014.pdf.
- NEA (2010), *The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*, OECD, Paris, Figure 1.3, p. 37, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6358-security-energy-sup.pdf.
- NRC (2010), *The Hidden Costs of Energy*, National Research Council of the National Academies of Science, Washington, DC.
- OECD (2015), *Aligning Policies for a Low-carbon Economy*, OECD, Paris.
- OECD (2012), *Greening Development: Enhancing Capacity for Environmental Management and Governance*, OECD, Paris.
- OECD (2010), *Paying for Biodiversity: Enhancing the Cost-Effectiveness of Payments for Ecosystem Services*, OECD, Paris.
- OECD (2006), *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments*, OECD, Paris.
- Ong, S., C. Campbell, P. Denholm, R. Margolis and G. Heath (2013), *Land Use Requirements for Solar Power Plants in the United States*, NREL, USDOE, Oak Ridge, Tennessee.
- Pimentel, D. et al. (2008), “Biomass: Food versus fuel”, *Food, Energy, and Society, Third Edition*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 277-310.
- REN21 (2014), *Renewables 2014: Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris.
- Tester, J. et al. (2006), *The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Toman, M. (1997), “Why not to calculate the value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Ecological Economics*, Vol. 25, pp. 57-60.
- UNEP (2012), *Global Environmental Outlook 5*, UNEP, Nairobi.
- UN (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, United Nations, Geneva.
- Van der Horst, D. (2007), “NIMBY or not? Exploring the relevance of location and the politics of voiced opinions in renewable energy siting controversies”, *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 2705-2714.
- Walls, M. and A. Riddle (2012), *Biodiversity, Ecosystem Services, and Land Use: Comparing Three Federal Policies*, Resources for the Future, Washington, DC.

Глава 8. Надёжность энергоснабжения и электроснабжения¹

8.1. Введение

Постоянное наличие и доступность энергии и, в частности, электроэнергии является обязательным условием для функционирования современного общества. Это особенно относится к развитому индустриальному или постиндустриальному обществу, где электроэнергия обеспечивает предоставление услуг, важных для производства, коммуникации и торговли. Неудивительно, что правительства многих стран обеспокоены пониманием факторов, влияющих на надёжность энергоснабжения и электроснабжения, и стремятся разработать нормативную базу и стратегию для их усовершенствования.

Положительное или отрицательное воздействие определённой формы энергии на надёжность энергоснабжения в целом представляет собой внешний эффект, который должен учитываться в полных затратах, касающихся данного источника. Несмотря на существующее широко распространённое согласие с тем, что надёжность энергоснабжения должна быть вопросом, требующим решения при разработке политики, данная проблема до настоящего времени не подверглась серьёзной количественной оценке и, как следствие, денежному выражению. Если говорить о первом аспекте, количественной оценке, публикация, на которой основана настоящая глава (АЯЭ, 2010), внесла первый важный вклад не только посредством разработки адекватного показателя надёжности энергоснабжения, а также посредством его совмещения с согласованным комплектом данных для стран ОЭСР за 40-летний период (см. раздел 8.3). Даже если показатели надёжности снабжения обсуждались и ранее, их применения к согласованной базе данных до настоящего времени не производилось. Несмотря на такой шаг вперёд, вопрос денежного выражения до сих пор остаётся проблематичным. Так как надёжность энергоснабжения тесно связана с широкими политическими вопросами высокого уровня, такими как национальный суверенитет, а также со сложными общественными позициями в отношении риска, денежное выражение на текущий момент не является жизненно важным.

Сектор, в котором вопросы надёжности снабжения формулируются с настойчивым требованием, представлен энергетикой. Необходимость баланса предложения и спроса на энергетических рынках, где электроэнергия не подлежит хранению, а спрос неэластичен, всегда требовала тесного взаимодействия между поставщиками и операторами сетей электропередачи. Однако в связи с двойной проблемой во многих странах ОЭСР, заключающейся в рыночной интеграции и либерализации энергетического рынка, такое взаимодействие становится всё более напряжённым. Главные причины создавшейся ситуации следующие: а) несоответствие инфраструктуры сети электропередачи; б) снижение резервов мощности, ведущее к уязвимости энергосистемы при резких скачках спроса или технических авариях; в) большие объёмы непостоянной возобновляемой энергии, например, ветровой энергии (см. также системные издержки в главе 3). Именно в электроэнергетическом секторе экономика стран ОЭСР на текущий момент сталкивается с самой важной проблемой надёжности снабжения. Кроме того, именно здесь атомная энергетика вместе с гидроэнергетикой в качестве стабильного источника электроэнергии, вырабатываемой по технологиям, предусматривающим возможность диспетчерского управления и прогнозирования затрат, имеет важный потенциал по усилению надёжности энергоснабжения в целом.

К сожалению, существующие на сегодняшний день показатели не дают полного представления о том, как обстоят дела с надёжностью снабжения в электроэнергетических секторах стран ОЭСР. Достаточно просто собрать таким же образом, как и для остальной части энергосистемы, данные по относительному вкладу различных внутренних и импортируемых источников энергии, чтобы получить представление о ситуации на текущий момент с диверсификацией и зависимостью от импорта. Также возможно, даже если и не в идеальном объёме, получить приблизительные показатели состояния системы электропередачи и распределения, а также уровня резервов мощности. Тем не менее, на текущий момент невозможно предоставить для всех стран согласованный показатель, касающийся доли технологий, использующих переменчивые источники энергии, и доли технологий, предусматривающих возможность диспетчерского

1. Данная глава основана в первую очередь на исследовании АЯЭ (2010), а также на работе Камерона и Кеплера (2010).

управления, в обеспечении надёжности электроснабжения. При прочих равных условиях, управляемые технологии на МВт установленной мощности более важным образом содействуют обеспечению надёжности электроснабжения, чем переменчивые; данный факт измеряется соответствующей «номинальной мощностью». Тем не менее, как указано в главе 3, различные типы системных издержек переменчивых технологий очень сильно зависят от каждой конкретной страны и существующей в ней взаимосвязи между спросом и наличием управляемых ресурсов. В 2010 году ещё не существовало полного понимания темы системных издержек, поэтому влияние фактора изменчивости на надёжность электроснабжения не отражено в показателях, представленных в данной главе.

8.2. Методологические вопросы, трудности количественной оценки и неопределённость

Надёжность энергоснабжения с готовностью обсуждается в ходе политических дискуссий, но редко имеет точное определение. Это обусловлено частично тем, что часто этот термин по-разному понимается разными людьми. Эксперт в области внешней политики будет рассматривать данный вопрос не так, как инженер-энергетик или экономист. Существует большое количество определений надёжности электроснабжения с точки зрения различных экспертов. Они стараются различными способами объединить проблемы, связанные с предпочтениями на геополитическом уровне, выбором стратегических технологий, экономическим развитием или социальной политикой. Также разные определения даются в разных странах. Страны с ограниченным доступом к трансграничным инфраструктурам энергопередачи, но с обширными внутренними ресурсными базами будут иметь представление о надёжности энергоснабжения, которое будет отличаться от представления, существующего в странах с небольшой территорией и открытой экономикой, которые тесно взаимодействуют с соседними государствами и обладают меньшим количеством собственных ресурсов. Даже при более внимательном рассмотрении, надёжность энергоснабжения остаётся сложным понятием, требующим тщательного аналитического разбирания, чтобы позволить проведение понятной количественной оценки и сравнения по странам или во времени. Подходящей отправной точкой является общепринятое определение из исследования АЯЭ (2010: с. 9): «Надёжность энергоснабжения – устойчивость энергетической системы к уникальным и непредвиденным событиям, угрожающим физической целостности энергетических потоков или приводящим к периодическому росту цен на электроэнергию, независимо от долгосрочных фундаментальных факторов экономики».

После определения риска недостаточной надёжности энергоснабжения как уязвимости перед лицом уникальных или непредвиденных событий, можно дать множество примеров, которые представляют собой настоящие риски для энергоснабжения:²

1. Долго- или среднесрочные физические перебои в энергоснабжении в результате:
 - а) политических решений, таких как эмбарго (например, нефтяной кризис в начале семидесятых);
 - б) геополитической напряжённости, охватывающей одну или несколько стран-поставщиков (например, войны, напряжённость на Ближнем Востоке);
 - в) внутренних проблем в стране, осуществляющей поставки, или в регионе (например, гражданская война, политическая напряжённость, протесты);
 - г) ограничений производственной мощности из-за дефицита инвестиций (например, отказ от прямых иностранных инвестиций, ненадлежащее управление);
 - д) ограничений производственной мощности из-за «устойчивого» долгосрочного управления природными ресурсами (например, в Норвегии, Катаре);
 - е) ограничений поставок из-за долгосрочного использования монопольного права одной организацией или объединением (например, ОПЕК);
 - ж) ограничений по использованию определённых видов топлива (например, ограничения по использованию ископаемого топлива из-за установленных пределов по выбросам CO₂ для борьбы с глобальным потеплением);

2. Данный перечень адаптирован на основе перечня, предоставленного Кеплером и Лезурном в работе Кеплера (2007b).

- з) истощения природных ресурсов при условии, что оно не учитывается надлежащим образом частными субъектами экономической деятельности или при внезапном появлении новых данных.
2. Краткосрочные физические перебои энергоснабжения из-за отдельных и непредсказуемых событий, таких как:
- а) политические и военные причины (например, Суэцкий кризис);
 - б) коммерческие споры (например, касающиеся Беларуси, Украины);
 - в) саботаж (например, на нефтепроводах в Ираке);
 - г) негосударственное посягательство на энергетические инфраструктуры (например, пиратские атаки в Малаккском проливе и в Ормузском проливе);
 - д) экстремальные метеорологические явления (например, ураган «Катрина», полярный вихрь);
 - е) технические аварии (например, нарушение работы высоковольтной системы в Европе из-за сильных скачков в производстве электроэнергии с использованием ПВИЭ или спросе, разлив нефти на месторождении Макондо);
 - ж) несоответствие внутренней генерирующей мощности (например, в Калифорнии в 2002 г.).
3. Краткосрочные скачки цен на электроэнергию из-за:
- а) непредвиденного использования монопольного права одной организацией или объединением (например, пересмотры квот ОПЕК);
 - б) спекулятивных пузырей и стадного поведения (например, цены на нефть в 2008 г.);
 - в) появления новых данных в отношении резервных позиций крупного поставщика или вероятного будущего спроса.

Два ключевых аспекта надёжности энергоснабжения

Надёжность энергоснабжения является классическим примером внешнего эффекта, т. е. проблемы, которая влияет на благополучие отдельных лиц и общества, решение которой не обеспечивается рынками на должном уровне. Являясь негативным внешним эффектом, риск недостаточной надёжности энергоснабжения представляет собой политический вопрос, так как частные лица не могут застраховать себя от таких рисков ввиду их информационной сложности и невозможности выполнения количественного определения. Как показано в главе 1, такая сложность эквивалентна существованию транзакционных издержек и может обуславливаться отсутствием установленных причинно-следственных связей, неточно определёнными или отсутствующими предпочтениями, а также большим количеством отдельных заинтересованных лиц, которых сложно объединить посредством институциональных процессов. В случае надёжности энергоснабжения, аспекты внутренней политической власти, геополитической стратегии и, в некоторых случаях, даже военного планирования должны включаться в перечень факторов, усложняющих непосредственную интернализацию и экономическую оптимизацию. Даже в большей мере, чем в отношении других категорий внешних эффектов, управление надёжностью энергоснабжения будет всегда предполагать определённый уровень государственного вмешательства.

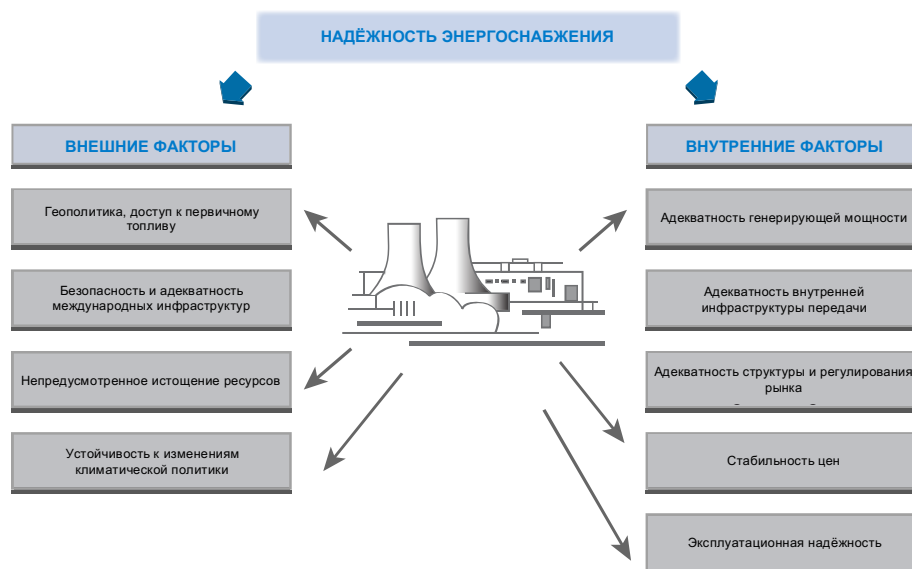
Однако было бы ошибочно думать о надёжности энергоснабжения как о «чёрном ящике». Можно выполнить последовательный анализ и даже сделать количественную оценку с помощью некоторых теоретически обоснованных и систематически отслеживаемых показателей. Даже если вся суть не будет полностью отображена, политикам рекомендуется включать эти показатели в процессы принятия решений, поскольку они отражают влиятельные факты внутренней экономической структуры энергетического сектора. Два ключевых аспекта представляют собой внешние или геополитические факторы, а также внутренние факторы, которые объединяют технические, финансовые и экономические вопросы (рис. 8.1).

Геополитический риск практически всегда связан с первичными энергоносителями (нефтью, газом, углём или ураном), так как их расположение зависит от геологических и климатических превратностей. Так, добыча первичных энергоносителей и их потребление часто физически разделены большими дистанциями и происходят в странах и регионах с разными историями, культурами и ценностями. В то время как все другие этапы энергетической цепочки, такие как переработка или обогащение,

преобразование и распределение могут быть физически приближены к конечному потребителю, такая возможность для разведки и производства первичных энергоносителей отсутствует.

Учитывая то, что одной из главных причин геополитических рисков, связанных со снабжением, является физическое разделение центров производства первичных энергоносителей и мест их потребления, возникает невольное желание затронуть вопрос о стремлении к перемещению производства в собственную страну («энергетическая независимость»). Является ли это правильным подходом, зависит от географического расположения страны, собственной энергетической обеспеченности, физического состояния инфраструктуры для транспортировки и хранения, диверсификации снабжения, желания населения согласиться с более высокими средними долгосрочными ценами для меньшей изменчивости, а также от массы других вопросов.

Рисунок 8.1: Аспекты надёжности энергоснабжения



Источник: АЭЯ, 2010.

Надёжность энергоснабжения не обязательно является синонимом энергетической независимости или самодостаточности. Свободная и международная торговля энергией посредством слаженно действующих конкурентных рынков может обеспечить своевременную поставку всех необходимых источников энергии. Большинство стран зависят, по крайней мере, частично, от международной торговли энергией и такая ситуация не изменится и в дальнейшем. Однако, вопрос о самодостаточности действительно имеет особую значимость на рынках электроэнергии, где определённый объём внутреннего производства требуется в связи с тем, что электроэнергия не может храниться или передаваться на большие расстояния при разумных затратах. В островных странах, таких как Австралия и Япония, или странах, фактически находящихся в географической изоляции, таких как Корея, внутреннее производство энергии *обязано* покрывать собственный спрос. Дело обстоит иначе с хранимыми ресурсами, такими как уголь или нефть, которые позволяют странам иметь высокий уровень надёжности энергоснабжения даже при отсутствии внутреннего производства. Разумеется, исходные ресурсы для производства электроэнергии, такие как уран или газ, могут приобретаться из внешних источников и храниться, однако выработка энергии должна осуществляться непосредственно внутри страны.

Вставка 8.1: «Подводные камни» геополитического подхода

Зависимость между геополитикой и импортом определённо имеет отношение к надёжности энергоснабжения. Тем не менее, следует остерегаться отдавать предпочтение данному аспекту в ущерб остальным. Поучительным примером может послужить хорошо обоснованная, впрочем, презентация профессора Джона Гиттуса (*John Gittus*) из Лондонского Ллойда под названием

«Поддержание освещения» (*Keep the Lights Burning*). В значительной степени настаивая на рисках будущих беспорядков на Ближнем Востоке и нарушений поставок газа из России, он поднимает вопрос о возникновении угрозы возврата к «трёхдневной неделе», если не будут предприняты радикальные меры, и прогнозирует полное обесточивание Великобритании к 2025 году с потерей 75 % электроснабжения на срок более одного дня с «вероятностью, составляющей от 2 % до 5 %» (Гиттус, 2004: с. 7).

Однако, над выбором терминологии стоит призадуматься. Имеющий не совсем положительную репутацию известный термин «трёхдневная неделя» появился в 1984 году в период «зимы недовольства», когда британские шахтёры-угольщики устроили забастовку. Таким образом, Гиттус, без задней мысли, подчёркивает тот факт, что внутренние энергетические ресурсы не всегда превосходят импортируемые с точки зрения надёжности электроснабжения. Представленные им собственные статистические данные подтверждают, что самый серьёзный и наиболее длительный перебой в электроснабжении в Великобритании наблюдался в 1984 году именно в связи с забастовкой (Гиттус, 2004: с. 5). Важно не столько различие между внутренними и зарубежными источниками энергии, сколько отсутствие эффективных сигналов рынка и степень политизации. Распределительные конфликты в угольной промышленности Великобритании наносят надёжности электроснабжения такой же ущерб, как и беспорядки на Ближнем Востоке.

Надёжность электроснабжения всегда имеет важный внутренний аспект. Надёжность электроснабжения берёт свое начало в собственной стране. Наиболее важной обязанностью правительства ОЭСР является проведение политики, стимулирующей частных субъектов экономической деятельности для создания внутри страны адекватного количества объектов для производства, передачи, преобразования и потребления энергии. Важными элементами такой политики являются стабильность регулирования, организация рынка, налоговая последовательность и прогнозирование экологической политики. Если говорить более конкретно, ключевой задачей политиков в секторе электроэнергетики является создание соответствующих рамок для:

- инвестиций во внутреннее производство и низкоуглеродные источники энергии, такие как атомные электростанции, гидроэлектростанции и электростанции, использующие возобновляемые источники энергии. Низкоуглеродные технологии имеют объективные преимущества с точки зрения надёжности электроснабжения, но при этом характеризуются недостатками в виде высоких фиксированных издержек на рынках с неустойчивыми ценами и отсутствием надёжного ценового сигнала в отношении квот на углерод;
- строительства соответствующих инфраструктур для передачи и преобразования энергии с соответствующими долгосрочными финансовыми договоренностями.

Таким образом, правительства ОЭСР несут ответственность за создание рыночных условий, позволяющих низкоуглеродным технологиям с более низкими рисками перебоев в электроснабжении конкурировать на равных условиях с другими технологиями. Правительства также должны сыграть свою роль в обеспечении адекватного уровня мощностей для передачи, распределения и преобразования энергии. Частично, такие мощности могут быть обеспечены и самими рынками, но в других случаях они требуют регулирования и контроля. В первую очередь, такое регулирование должно обеспечивать достаточно привлекательные финансовые условия для инвестиций в инфраструктуру передачи и преобразования энергии. Вторым приоритетом является то, что политическая поддержка должна содействовать проектам, которые являются необходимыми на национальном уровне для предотвращения чрезмерных задержек посредством соответствующих процессов регулирования и законов о территориальном зонировании, а также эффективных механизмов консультирования, посредничества и компенсаций.

8.3. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки

Показатели надёжности электроснабжения имеют долгую историю (см. вставку 8.2 и Приложение 8.A1). Главная задача всегда заключается в сочетании релевантных показателей с адекватными, согласующимися и сопоставимыми данными. В 2010 году АЯЭ опубликовало работу «Надёжность электроснабжения и вклад атомной энергии» (*The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*), в которой была разработана последовательная методология для всех видов энергии и электроэнергии с целью предоставления количественных показателей надёжности электроснабжения. Данная методология является абсолютно прозрачной, а доли, относящиеся к различным параметрам, можно скорректировать в соответствии с национальными предпочтениями. Новизна и важность исследования АЯЭ заключается в возможности сочетать простую методологию, основанную на работах Схеперса и др. (*Scheepers et al.*) (2007), с большим количеством согласующихся данных об электроснабжении и электроэнергетике в странах ОЭСР за последние 40 лет, предоставленных

Международным энергетическим агентством (МЭА). Именно в этом вопросе вклад АЯЭ действительно меняет ситуацию.

Вставка 8.2: Многообразие как ключевое понятие для развития показателей надёжности энергоснабжения

Понятие многообразия применяется во многих науках. В широком смысле оно относится к степени диверсификации между категориями различных элементов в определённой системе. Основным преимуществом в достаточной степени диверсифицированной системы является то, что, несмотря на неопределённость или даже незнание будущих результатов, многообразие обеспечивает устойчивость. Одной из первых научных дисциплин, в которой данное понятие было изучено, является экология. Таким образом, уже Дарвин продемонстрировал, что диверсификация видов в экосистеме является «спонтанной» стратегией выживания в связи с изменением биотопных условий. Однако, многообразие также имеет свои издержки, такие как отказ от преимуществ, связанных с эффектом масштаба и стандартизацией.

Эндрю Стирлинг (*Andrew Stirling*), в частности, применил понятие многообразия для энергетической политики путём его разделения на категории разнообразия, равновесия и различия (см. Стирлинг, 1994 и 1998; а также Йенсен и др. (*Jansen et al.*), 2004). Разнообразие относится к числу различных категорий, на которые может быть разбита система. Равновесие относится к распределению объёма элементов системы на соответствующие категории. Различие относится к степени, в которой сами категории отличаются друг от друга. Стирлинг исследовал вопрос о том, каким образом можно выразить многообразие в простом и надёжном количественном индексе. Эколог Марк Хилл (*Mark O. Hill*) продемонстрировал, что два наиболее значимых индекса многообразия, которые связывают разнообразие с равновесием, являются производными от общей формы (Хилл, 1973: с. 428-431):

$$\Delta a = [\sum_i (p_i a)]^{1/(1-a)},$$

где p_i обозначает долю элемента i , а Δ обозначает меру многообразия в соответствии с параметром a . Чем выше значение параметра a , тем ниже уровень чувствительности к наличию вариантов с меньшим уровнем вклада (Стерлинг, 1998, с. 49). Другими словами, чем выше значение параметра a , тем больше внимания уделяется равномерному распределению различных элементов. Приближение параметра a к единице позволяет получить в пределе экспоненциальное выражение известного индекса Шеннона-Винера (SWI):

$$\Delta 1 = e^{SWI} \text{ с } SWI = - \sum_i p_i \ln(p_i).$$

Минимальное значение многообразия появляется в том случае, когда система элементов охватывается только одной категорией. Максимальное значение достигается, когда все элементы системы равномерно распределены по системным категориям. Если установить параметр a общей формы Хилла равным двум, то получим обратную функцию, которую в экологии называют индексом разнообразия Симпсона, а в экономике – индексом Херфиндаля-Хиршмана (HHI):

$$\Delta 2 = 1/\sum_i p_i^2 = 1/HHI \text{ with } HHI = \sum_i p_i^2.$$

При необходимости показатели многообразия можно усложнить. Одним из наиболее интересных расширений является включение различия, т. е. «дистанции» между различными вариантами. Однако, тут мы вновь возвращаемся к качественному рассуждению.

Показатель надёжности энергоснабжения, разработанный АЯЭ, называется упрощённым индексом спроса и предложения (УИСП). Он относится к категории показателей, основанных на устойчивости, которые направлены на определение способности экономики погасить и ослабить последствия перебоев в электроснабжении путём смягчения негативного воздействия на благосостояние за счёт увеличения уровня регулируемости спроса и предложения (Йенсен и Зибрегтс (*Seebregts*), 2010; Йенсен и Ван Дер Велле (*Van Der Welle*), 2011). В частности, индекс спроса и предложения (С/П), предложенный Схеперсом и др. (2007), на котором основан УИСП АЯЭ, включает аспекты уязвимости и управляемости как спросом, так и предложением.

Индекс спроса и предложения представляет собой комплексный показатель надёжности энергоснабжения для определённого региона в среднесрочной и долгосрочной перспективе, который учитывает основные обуславливающие факторы с точки зрения спроса и предложения. Данный индекс

нормализован в диапазоне от 0 (чрезвычайно низкий уровень надёжности) до 100 (чрезвычайно высокий уровень надёжности). Он охватывает спрос на конечную энергию, преобразование и передачу энергии, а также предложение первичной энергии (следовательно, в принципе, всю энергетическую систему в целом). Разница между УИСП и индексом спроса и предложения заключается в том, что УИСП был адаптирован к работе с единственной существующей базой согласованных данных, собранных за последние 40 лет, т. е. с «Энергетической статистикой МЭА» (*IEA Energy Statistics*). Правила расчёта результатов (см. ниже) также были упрощены и адаптированы для применения не только в рамках Европейского Союза и Норвегии, а в ОЭСР в целом. Таким образом, для УИСП используется четыре типа входных данных.

1. Доли различных категорий спроса и предложения (т. е. для предложения: нефть, газ, уголь, атомные, возобновляемые и другие источники энергии; для спроса: промышленное назначение, бытовое назначение, третичный сектор и транспортное назначение).
2. Показатели эффективности энергии и углерода, а также соответствия инфраструктур для преобразования и передачи вторичных энергоносителей (электроэнергия, тепло и транспортное топливо).
3. Доли, определяющие вклад различных компонентов в УИСП (например, соотношение между спросом и предложением или между импортом из стран ОЭСР и импортом из стран, не являющихся членами ОЭСР).
4. Правила расчёта результатов для определения различных значений УИСП, отражающих разные степени ощущаемой уязвимости для различных видов топлива.

В исследовании АЯЭ УИСП применялся только к имеющимся согласованным данным, касающимся энергетических секторов стран ОЭСР, за последние 40 лет («Энергетическая статистика МЭА»). В отношении рассчитанных долей спроса, инфраструктуры и предложения учитывается степень многообразия и источник предложения различных энергоносителей, эффективность потребления энергии и состояние инфраструктуры выработки электроэнергии. На рис. 8.2 представлен обзор распределения и размера долей, используемых для УИСП в исследовании АЯЭ (2010) на первом уровне анализа. Полный список подробных правил расчёта результатов указан в исследовании АЯЭ (2010: с. 123-124). Одним из ограничений для УИСП является то, что он не учитывает возобновляемые источники энергии, за исключением гидроэлектростанций, чей вклад в электроснабжение в течение большей части проанализированного 40-летнего периода был слишком мал, чтобы оказать какое-либо влияние. Но за последние десять лет ситуация явно изменилась. При любой корректировке УИСП необходимо учитывать все виды возобновляемой энергии и воздействие изменчивости на надёжность энергоснабжения.

Рисунок 8.2: **Распределение и доли, используемые для расчёта упрощённого индекса спроса и предложения**

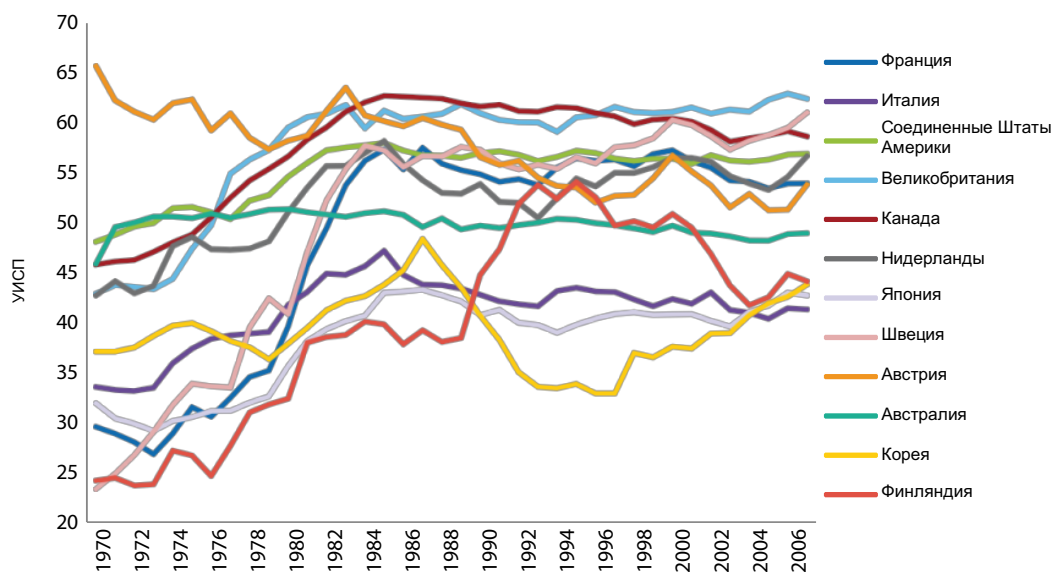


Источник: АЯЭ, 2010

Основываясь на данных из «Энергетической статистики МЭА», УИСП отображает значительное повышение надёжности энергоснабжения для подавляющего большинства стран ОЭСР за 40-летний период исследования. Ключевые факторы в данном процессе развития включают переход

от импортируемых источников, таких как нефть, газ и уголь, к преимущественно внутренним источникам, таким как атомная энергия и возобновляемые источники, а также диверсификацию источников импортируемой энергии. Анализ динамики изменения УИСП с 1970 по 2007 год был проведён для нескольких стран ОЭСР: Австралии, Австрии, Великобритании, Италии, Канады, Кореи, Нидерландов, США, Финляндии, Франции, Швеции и Японии (см. рис. 8.3). В ходе анализа были определены изменения в тенденции, поскольку произошли важные изменения в политике, такие как переход Великобритании с угля на газ или внедрение ядерных программ во Франции и США.

Рисунок 8.3: Эволюция УИСП для некоторых стран ОЭСР



Источник: АЯЭ, 2010

Очевидно, что значение УИСП значительно увеличилось в период между 1970 и 2007 гг. в случае большинства исследуемых стран: Австралия, Великобритания, Канада, Нидерланды, США, Финляндия, Франция, Швеция и Япония. Напротив, значение УИСП для Австрии, Италии и Кореи находилось на низком уровне или не увеличивалось в период с 1970 по 2007 гг. Повышение УИСП в странах ОЭСР обусловлено тремя разными факторами:

- внедрение атомной энергии для производства электроэнергии;
- снижение энергоёмкости в странах ОЭСР;
- увеличение диверсификации первичных источников энергии.

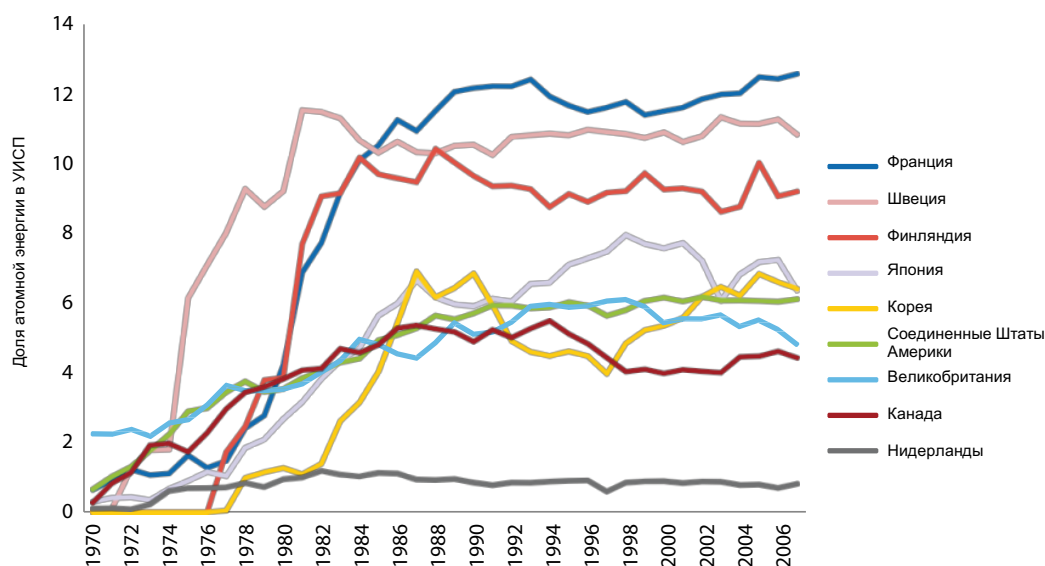
В этом контексте часто упоминаются такие возобновляемые источники энергии, как ветровая и солнечная энергия, но их доля до 2007 года была слишком низкой, чтобы оказывать какое-либо влияние на количественные показатели. Однако быстрое развитие ветряных и фотоэлектрических солнечных электростанций в ряде стран ОЭСР, безусловно, оказало влияние на надёжность энергоснабжения. Итоговый результат будет зависеть от компромисса между положительным воздействием внутреннего производства и отрицательным воздействием снижения резерва мощности системы электроснабжения (см. также главу 3 о системных издержках). Однако, использование в таких расчётах очень приблизительного и уже готового показателя адекватности системы, которым является отношение общего объёма генерирующих мощностей к пиковому спросу, при прочих равных условиях, вероятно, приведёт к увеличению УИСП в ответ на рост производства электроэнергии из возобновляемых источников.

Атомная энергия в этой перспективе имеет ещё более благоприятные предпосылки для усиления своих позиций, учитывая её способность увеличивать долю внутреннего производства при сохранении или улучшении резервных возможностей энергосистемы. В течение своего жизненного цикла атомные

электростанции получают в стоимостном выражении 90 % своих исходных ресурсов из источников собственной страны. Импорт урана, как и импорт редкоземельных элементов для роторов ветряных турбин, не является серьёзной проблемой, поскольку он широко диверсифицирован и часто странами происхождения являются другие страны ОЭСР. Кроме того, хранение урана благодаря его высокой плотности энергии возможно при сравнительно небольших затратах. Таким образом, уровень издержек на хранение урана намного ниже уровня издержек, возникающих при хранении эквивалентных объёмов первичной энергии в форме ископаемого топлива. И последний, но не менее важный аспект: атомная энергия разделяет с возобновляемыми источниками преимущество в плане надёжности энергоснабжения, заключающееся в том, что соответствующие издержки останутся неизменными в случае внезапного ужесточения ограничений на выбросы парниковых газов.

Перед лицом геополитических рисков энергоснабжения, будь то из-за зависимости от импорта, истощения ресурсов или глобальных изменений механизма торговли квотами на выбросы, ядерная энергия и возобновляемые источники энергии обладают преимуществами, которых не имеют другие виды топлива, такие как нефть, уголь и газ: широкая доступность ресурсов в течение длительного времени, незначительные последствия роста цен на ресурсы и устойчивость к изменениям в политике, связанной с выбросами двуокси углерода. Удвоение цены на единицу сокращения выбросов с 30 долларов США за тонну CO₂ до 60 долларов США за тонну CO₂ на 30 % увеличит общую среднюю стоимость электроэнергии, производимой угольными электростанциями, более чем удвоив переменные издержки производственного процесса. Это вполне реальные цифры. Принимая во внимание текущие обязательства по сокращению глобальных выбросов электроэнергетического сектора к 2050 году на 50 %, чтобы сдержать повышение средней глобальной температуры в пределах 2°C, результаты моделирования показывают, что предельные издержки на сокращение выбросов должны составлять, по крайней мере, 100 долларов США за тонну CO₂. Электрификация энергосистемы с помощью низкоуглеродных технологий, большое количество составляющих которых сосредоточено внутри страны, таким образом, в целом повышает надёжность энергоснабжения.

Рисунок 8.4: Вклад атомной энергии в увеличение УИСП



Источник: АЯЭ, 2010

Многие страны ОЭСР вкладывали огромные средства в развитие атомной энергетики в 1970-х и 1980-х годах. На рис. 8.4 показана степень, в которой атомная энергия способствовала повышению надёжности энергоснабжения этих стран (на рис. 8.4 выделена доля атомной энергии в УИСП, представленном на рис. 8.3). В целом более 50% улучшения надёжности энергоснабжения, наблюдавшегося с 1970 года, произошло благодаря использованию атомной энергии. Вклад гидроэнергетики оставался более или менее стабильным в течение наблюдаемого периода и доля остальных возобновляемых источников энергии, как упоминалось ранее, была слишком мала, чтобы оказывать какое-либо влияние, но с тех пор резко возросла. Изменчивость возобновляемых источников, отличных от гидроэнергии, создаёт проблемы не только для обеспечения постоянного наличия электроэнергии, но также для стабильности сети и технической надёжности энергосистемы. Среди низкоуглеродных источников энергии атомная

энергия является уникальной, поскольку не зависит ни от непостоянности гидроэнергии в течение года, ни от суточных колебаний ветровой и солнечной энергии.

8.4. Перспективы интернализации и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Из-за своей сложности и динамичной эволюции многих параметров, определяющих действительность, а также общественного спроса на «надёжное» энергоснабжение, надёжность энергоснабжения остаётся не подвергшимся интернализации внешним эффектом или общественным благом, которое рынки не могут обеспечить на соответствующем уровне. Таким образом, даже при наличии глобального рынка для большинства энергоносителей надёжность энергоснабжения остаётся политическим вопросом, ответственность за решение которого надлежит взять на себя правительствам. С точки зрения геополитики, кроме обеспечения производства адекватных долей энергии внутри страны, правительствам необходимо обеспечить существование прозрачных глобальных рынков, способствующих диверсификации и взаимовыгодному разделению труда. С точки зрения внутренней политики, акцент должен быть сделан на создание соответствующих рыночных условий и систем стимулирования, которые позволяют всем технологиям вносить свой потенциальный вклад в надёжность энергоснабжения, в частности, низкоуглеродным технологиям с высокими постоянными издержками.

На более техническом уровне можно выделить пять отдельных направлений политики, на которых правительства должны сосредоточить своё внимание, чтобы эффективно реагировать на проблемы надёжности энергоснабжения:

1. диверсификация, техническая надёжность и управляемость как в энергетике, так и в электроэнергетике;
2. энергосбережение, управление спросом и хранение энергоносителей;
3. создание рамок для нормативно-правовых, институциональных и налоговых механизмов для обеспечения адекватной инфраструктуры;
4. механизмы управления кризисными ситуациями.

В целом низкоуглеродные технологии, такие как атомная энергетика, гидроэнергетика, ветроэнергетика и солнечная энергетика, обладают рядом привлекательных характеристик, которые позволяют им вносить вклад как в геополитические, так и во внутренние аспекты надёжности энергоснабжения. Изменения стоимости из-за изменений в ценах на сырьё или налогах на углеродосодержащие выбросы либо отсутствуют, либо минимальны, в отличие от технологий на основе ископаемого топлива. Таким образом, переменчивость геополитики или эволюция глобальных усилий по сокращению выбросов парниковых газов практически не отражаются на издержках низкоуглеродных технологий. Однако из-за высокого уровня постоянных издержек эти технологии требуют создания условий, которые не ставят их в невыгодное положение в конкурентной борьбе с технологиями на ископаемом топливе, чтобы вносить свой полный вклад в надёжность энергоснабжения стран ОЭСР.

Наконец, что не менее важно, среди различных низкоуглеродных технологий необходимо должным образом признать разницу во вкладе переменчивых и управляемых низкоуглеродных технологий в надёжность энергоснабжения и электроснабжения. При прочих равных условиях, технологии, предусматривающие возможность диспетчерского управления, на МВт установленной мощности более важным образом содействуют обеспечению надёжности электроснабжения, чем переменчивые. Однако различные типы системных издержек переменчивых технологий очень сильно зависят от каждой конкретной страны и существующей в ней взаимосвязи между спросом и наличием управляемых ресурсов. Вот почему на текущей стадии развития энергетике нет устойчивых показателей, которые позволили бы экспертам учитывать разницу между технологиями, использующими переменчивые источники энергии, и технологиями, предусматривающими возможность диспетчерского управления. Будущие исследования по показателям надёжности снабжения должны решить эту проблему.

Список литературы

Bhattacharyya, S. (2009), "Fossil-fuel dependence and vulnerability of electricity generation: Case of selected

- European countries”, *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 6, pp. 2411-2420.
- Blyth, W., N. Lefevre (2004), *Energy Security and Climate Change: An Assessment Framework*, OECD/IEA, Paris.
- Cameron, R. and J.H. Keppler (2010), “The security of energy supply and the contribution of nuclear energy”, OECD, Paris, *NEA News*, Vol. 28, Issue 2, pp. 4-8.
- Gittus, J. (2004), “Keep the lights burning”, Presentation at Lloyd’s of London Insurance Market.
- Grubb, M., L. Butler and P. Twomey (2006), “Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives”, *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 4050-4062.
- Hill, M.O. (1973), *Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences*, *Ecology*, Vol. 54(2), pp. 427-432.
- IEA (2010), *Energy Statistics*, OECD, Paris.
- IEA (2007), *Learning from the Blackouts: Transmission System Security in Competitive Electricity Markets*, OECD/IEA, Paris.
- IEA/NEA (2005), *Security of Energy Supply for Electricity Generation*, Proceedings of the Joint IEA/NEA Workshop, 24 May 2005, OECD, Paris.
- Jansen, J.C. and A.J. van der Welle (2011), “The energy services dimension of energy security, in B.K. Sovacool (ed.), *The Routledge Handbook of Energy Security*, New York: Routledge, pp. 139-149.
- Jansen, J.C. and Ad J. Seebregts (2010), “Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued?”, *Energy Policy*, Vol. 38, Issue 4, pp. 1654-1664.
- Jansen, J.C., W.G. van Arkel and M.G. Boots (2004), “Designing Indicators of Long-Term Energy Supply Security”, *ECN Policy Studies*, ECN-C--04-007, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.197.4269&rep=rep1&type=pdf>.
- Keppler, J.H. (2007a), *International Relations and Security of Energy Supply: Risks to Continuity and Geopolitical Risks*, Study for the Foreign Affairs Commission of the European Parliament, 41 p.
- Keppler, J.H. (2007b), *La securite des approvisionnements energetiques en Europe: principes et mesures*, Note de l’Ifri, 16 p.
- Keppler, J.H. (2007c), “Security of energy supply: A European perspective”, *European Review of Energy Markets*, Vol. 2, Issue 2, pp. 5-37.
- Keppler, J.H. and C. Kerebel (2009), *La gouvernance mondiale de l’energie*, Ifri, Paris, 245 pp.
- NEA (2010), *The Security of Energy Supply and the Contribution of Nuclear Energy*, Figure 1.1; Figure 3.2; Figure 3.6; Figure 3.15; Table 2.1; OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6358-security-energy-sup.pdf.
- NEA/IAEA (2010), *Uranium 2009: Resources, Production and Demand*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2010/6891-uranium-2009.pdf.
- Roques, F., D. Newbery, W. Nuttall, R. de Neufville and S. Connors (2006), “Nuclear power: a hedge against uncertain gas and carbon prices?”, *Energy Journal*, Vol. 27(4), pp. 1-24.
- Scheepers, M. (2003), “Indicators for Security of Supply in the Electricity Market”, Presentation at INDES Workshop, Amsterdam, 7 May.
- Scheepers, A.J. Seebregts, J.J. de Jong and J.M. Maters (2007), *EU Standards for Energy Security of Supply - Updates on the Crisis Capability Index and the Supply/Demand Index*, Quantification for EU-27, ECN-E--07-004, April, Energy research Centre of the Netherlands and Clingendael International Energy Program, Petten/Amsterdam/The Hague.

- Scheepers, M.J.J., A.J. Seebregts, J.J. de Jong and J.M. Maters (2006), *EU Standards for Energy Security of Supply*, ECN-C--06-039, June, Energy research Centre of the Netherlands and Clingendael International Energy Program, Petten/Amsterdam/The Hague.
- Stirling, A. (2008), "Diversity and sustainable energy transitions: Multicriteria diversity analysis of electricity portfolios", In: Bazilian, M., F. Roques (Eds.), *Analytical Methods for Energy Diversity and Security*, Elsevier, Oxford, pp. 3-29.
- Stirling, A. (1998), *On the Economics and Analysis of Diversity*, SPRU Electronic Working Paper Series, Paper No. 28.
- Stirling, A. (1994), "Diversity and ignorance in electricity supply investment: Addressing the solution rather than the problem", *Energy Policy*, Vol. 22, Issue 3, pp. 195-216.

Приложение 8.A1. Обзор оценки показателей надёжности энергоснабжения

Показатель	Эффективность	Прозрачность	Доступность данных	Актуальность для атомной энергетики
Импортозависимость и диверсификация				
Импортозависимость	B	B	B	B
Отношение чистой стоимости импортируемого топлива к ВВП	B	B	C	B
Кратность запасов	B	C	B	B
Кратность ресурсов	B	H	C	C
Изменчивость цен на энергоресурсы и единицу сокращения выбросов	B	B	B	B
Показатель многообразия (индекс Шеннона-Винера)	B	B	H	B
Показатель рыночной концентрации (индекс Херфиндала-Хиршмана)	B	B	H	B
Ресурсоёмкость и углеродоёмкость				
Коэффициент регенерации	B	C	C	C
Коэффициент потерь энергии при передаче	C	C	C	C
КПД генерации/преобразования	C	B	B	C
Потери при передаче и распределении	C	B	C	C
Потребление топлива или энергии на единицу ВВП	C	H	B	B
Выбросы парниковых газов на единицу топлива	B	C	B	B
Выбросы парниковых газов на единицу выработки электроэнергии	B	H	C	B
Адекватность системы				
Резерв мощности генерации	B	C	H	B
Резерв энергии	B	C	H	H
Низкий уровень поставок на пиковой мощности (газ и нефть)	B	C	H	H
Обязательная мощность базовой нагрузки	B	C	H	B
Показатели инвестиций в снабжении	H	C	C	C
Достаточная пропускная способность	B	H	H	C
Ёмкость хранилища для топлива	C	C	C/H	C
Доля контрактов, поставки по которым могут быть прерваны	C	C	H	H
Запас манёвренности для выравнивания нагрузок	B	C	H	C
Показатели инвестиций в передаче	H	C	C	H
Предельный запас соединителей	H	B	C	C/H
Критерий ёмкости соединителей	C	C/H	B	C

Источник: АЯЭ, 2010.



Глава 9. Роль электроэнергетического сектора в создании рабочих мест

9.1. Введение

В течение последних десяти лет было выпущено много отчётов, привлекающих внимание лиц, определяющих политику на высшем уровне, об оценке числа рабочих мест, создаваемых различными технологиями производства электроэнергии. Являясь важным экономическим показателем, интерес к созданию рабочих мест колеблется в зависимости от цикла деловой активности. Однако после рецессии 2007-2008 гг. рост занятости стал отставать от экономического роста ещё сильнее, чем в предыдущие периоды, отличавшиеся экономическим подъёмом. Это особенно актуально для электроэнергетического сектора, который, кроме того, с 2008 года характеризуется низким ростом спроса в странах-членах ОЭСР. Таким образом, количество и качество рабочих мест, создаваемых в секторе производства электроэнергии, представляет значительный политический интерес (здесь термин «качество» относится к требованиям, предъявляемым к уровню образования и соответствующему уровню заработной платы). Эта информация также часто используется различными заинтересованными группами для продвижения приоритетных с их точки зрения технологий и, в некоторых случаях, для представления этих технологий как отвечающих требованиям, необходимым для государственной поддержки.

Если с политической точки зрения доводы в пользу изучения занятости в секторе электроэнергетики безусловны, с экономической точки зрения подобные доводы значительно менее очевидны. Высокая трудоёмкость может представлять интерес для местных политиков, но она также может стать недостатком в экономической конкуренции. В классической экономической теории указывается, что социальное благосостояние максимально увеличивается путём обеспечения заданного уровня выработки электроэнергии при наименьших экономических затратах. Такой оптимальный вариант будет достигнут, если позволить предприятиям на конкурентных рынках электроэнергии выбирать подходящую технологию при условии, что будет надлежащим образом произведена интернализация соответствующих внешних эффектов, таких как загрязнение атмосферы и изменение климата.

Однако существует один экономический довод, который может оправдать изучение факторов, влияющих на уровень занятости. Это связано с тем фактом, что количественные и качественные характеристики занятости в различных технологиях производства электроэнергии могут создавать положительные внешние эффекты помимо производительности работников при производстве электроэнергии, ориентированном на рынок. Как и в случае технологического развития (см. главу 10), здесь важно отличать обычные экономические последствия от настоящих внешних эффектов, которые не отражаются рыночными ценами. При более комплексном подходе высокий уровень занятости создаёт положительные побочные эффекты, способствует социальной сплочённости и региональной связности, а также повышению уровня благополучия. С этой точки зрения особый интерес представляет качество труда, которое требуется для различных технологий. Чем выше квалификация рабочей силы и чем дольше срок трудовых договоров, тем больше вероятность возникновения положительных внешних эффектов на уровне местной, региональной и национальной экономики.

Другим аспектом, который не рассматривается в настоящей главе, является вопрос о том, в какой степени части экономического жизненного цикла технологии выработки могут быть локализованы. Таким образом, строительство электростанции или производство её основных компонентов может осуществляться за пределами страны, где производится электроэнергия. Последний вариант вполне может быть экономически оптимальным, но любые положительные внешние эффекты в области занятости, конечно, будут утеряны. В итоге, факторы, влияющие на уровень занятости в электроэнергетическом секторе, не позволяют делать простые выводы и должны рассматриваться с разных точек зрения. Высокая политическая значимость данных факторов, тем не менее, гарантирует их включение в полные затраты на производство электроэнергии.

9.2. Рабочие места и уровень образования в секторе атомной энергетики

Сектор атомной энергетики

Эта глава сделана на основе готовящегося к публикации отчёта АЯЭ под названием «Оценка занятости, обеспечиваемой сектором атомной энергетики» (*Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*), который опирается на работы Камерона и Ван Дер Звана (*Van Der Zwaan*) (2015), «Факторы занятости для технологий, использующих ветровую и солнечную энергию: Обзор литературы» (*Employment Factors for Wind and Solar Energy Technologies: A Literature Review*), а также работу Харкера (*Harker*) и Хиршбука (*Hirschboeck*), «Реалии работы, связанной с производством экологически чистых источников энергии: Количественная оценка экономических выгод альтернативных вариантов выработки» (*Green Job Realities: Quantifying the Economic Benefits of Generation Alternatives*) (2010). Несмотря на то, что глава не концентрируется исключительно на атомной энергетике, её отправной точкой служат факторы, влияющие на уровень занятости в атомном секторе. Таким образом, в вышеуказанном отчёте прямая, косвенная и индуцированная занятость в атомном секторе определяется следующим образом:

[В] секторе атомной энергетики... прямая занятость определяется как занятость на АЭС в строительстве, эксплуатации, выводе из эксплуатации, а также переработке и захоронению отходов; косвенная занятость – это занятость, обеспечивающая поставку товаров и услуг для указанных видов деятельности на АЭС; а индуцированная занятость в экономике связана с прямыми и косвенными издержками на производство и использование рабочей силы. Косвенная и индуцированная занятость должны рассчитываться с помощью макроэкономической модели конкретного региона или страны. (АЯЭ, готовится к публикации)

Эти определения берут свое начало в литературе по анализу межотраслевого баланса (макроэкономическая модель выбора), где «атомный сектор» получает материалы из других (например, производственных) секторов и продаёт электроэнергию другим секторам (или просто электросетям). Предполагается, что каждый сектор в модели межотраслевого баланса обеспечивает однородный продукт для других секторов. Следовательно, цепочка поставок *должна быть* закреплена за секторами, которые производят конструкции, оборудование и материалы, необходимые для сектора атомной энергетики.

В табл. 9.1 указанные значения стоимости строительства типового водо-водяного реактора (реактор PWR-12, аналогичный установкам, построенным на АЭС Уоттс-Бар корпорации Tennessee Valley Authority, см. издание ORNL 2011, основанное на издании ORNL 1988) соответствуют отраслям в соответствии с Североамериканской системой отраслевой классификации (NAICS). Для каждой отрасли с 6-значным кодом по NAICS сумма, потраченная на строительство типового водо-водяного реактора, определяется 1) для рабочей силы (в тысячах долларов по курсу на 2011 год) и 2) для прочих целей (оборудование и материалы, незначительная часть). (При расчёте занятости в отчёте АЯЭ (готовится к публикации) косвенно предполагается, что увеличение затрат на строительство сопровождается увеличением затрат на рабочую силу; поэтому количество рабочих мест со временем не изменяется).

В табл. 9.2 для приблизительного выражения рабочих мест в смежных отраслях первого порядка цифровые данные, указанные в табл. 9.1, собраны по отраслям с 3-значным кодом по NAICS. Расходы на «прочее» умножаются на «мультипликатор доходов отрасли на рабочие места», и эта величина делится на годовую заработную плату в каждой отрасли. Такая процедура даёт оба показателя: (1) прямые трудовые издержки на МВт – около 12,1 тысяч долларов США; и (2) косвенные трудовые издержки первого порядка на МВт – около 9,2 тысяч долларов США. Другие исследования, касающиеся сектора атомной энергетики, устанавливают, что косвенные трудовые издержки приблизительно равны прямым трудовым издержкам (см. отчёт МАГАТЭ, 2009 для Кореи), т. е. этот метод идентифицирует около 75% косвенных трудовых издержек, а 25% косвенных трудовых издержек, касается обеспечения нужд цепочки поставок для строительства ядерного объекта, например в обеспечении поставок материалов для машиностроения (NAICS 333).

Применяя определение типов занятости, АЯЭ рассчитало приблизительный уровень прямой, косвенной и индуцированной занятости в секторе атомной энергетики на ГВт мощности, вырабатываемой атомной энергией, следующим образом:

Подводя итоги [...], прямая занятость во время подготовки площадки и строительства одного усовершенствованного легководяного ядерного реактора мощностью 1 000 МВт составляет около 12 000 человеко-лет (прямые трудозатраты) за время строительства согласно табл. 2.2. В течение 50-летнего периода эксплуатации ежегодно насчитывается около 600 сотрудников в администрации, эксплуатации и техническом обслуживании, а также сотрудников, работающих по бессрочным трудовым договорам, или около 30 000 человеко-лет (прямые трудозатраты) за время эксплуатации. В течение 10-летнего периода вывода из эксплуатации ежегодно насчитывается около 500 человек, или около 5 000 человеко-лет (прямые трудозатраты). Наконец, в течение 40-летнего периода переработки и захоронения радиоактивных отходов – около 80 человек, или около 3 000 человеко-лет (прямые трудозатраты) (АЯЭ, готовится к публикации).

Следовательно, общее число составляет приблизительно 50 000 человеко-лет (прямые трудозатраты) на ГВт за 60-летний период.

Таблица 9.1. **Распределение затрат на строительство ВВП в США по отраслям NAICS**
(в тысячах долларов США по курсу 2011 года)

Отрасль NAICS	КОД NAICS	Трудовые ресурсы	Прочее	Итого
Строительство водопроводных и канализационных линий и связанных с ними сооружений	237 110	3 322	3 444	6 766
Строительство энергетических и связанных с ними сооружений	237 130	36 452	199 812	236 264
Строительство дорог, улиц и мостов	237 310	1 761	1 951	3 712
Сооружение тяжёлых и других объектов гражданского строительства	237 990	3 653	3 391	7 044
Подрядчики по бетонным, заливным конструкциям	238 110	51 351	36 973	88 324
Подрядчики по сооружениям из конструкционной стали и сборного железобетона	238 120	122 698	80 614	203 312
Подрядчики по сварочным работам (на площадке)	238 190	9 727	1 457	11 184
Подрядчики по электротехническим и другим монтажным работам	238 210	45 694	31 508	77 202
Подрядчики по сантехническим работам и ОВКВ	238 220	17 371	23 144	40 515
Подрядчики по строительному оборудованию, прочие	238 290	7 883	13 371	21 254
Покраска инженерных конструкций	238 320	10 329	2 935	13 264
Подрядчики по подготовке площадки	238 910	25 416	15 411	40 827
Изготовление труб (железных и стальных)	331 210	18 679	40 431	59 110
Изготовление сборных стальных конструкций	332 312	21 148	32 863	54 011
Изготовление энергетических котлов и теплообменников	332 410	29 106	360 507	389 613
Изготовление металлических резервуаров (больших размеров)	332 420	330	13 387	13 717
Установка ограждений из проволоочной сетки и распашных ворот	332 618	251	267	518
Изготовление металлических и прочих сборных изделий	332 999	9 010	3 150	12 160
Изготовление другого промышленного оборудования	333 249	7 691	37 895	45 586
Изготовление оборудования для очистки воды	333 318	21 655	53 640	75 295
Изготовление промышленного нагревательного и охладительного оборудования	333 415	23 238	62 050	85 288
Изготовление турбин и турбогенераторов	333 611	19 632	333 983	353 615
Изготовление насосов и насосного оборудования	333 911	48 493	140 558	189 051
Изготовление воздушных компрессоров	333 912	3 206	1 549	4 755
Изготовление погрузочно-разгрузочного оборудования	333 920	928	2 463	3 391
Изготовление лифтов и эскалаторов	333 921	378	1 222	1 600
Изготовление кранов, подъемников и других мостовых передвижных систем	333 923	2 111	12 599	14 710
Производство систем обнаружения пожара и пожарной сигнализации	334 290	17 654	14 528	32 182
Изготовление инструментов и сопутствующих изделий	334 513	18 307	24 258	42 565
Изготовление контрольно-измерительных приборов	334 519	17 601	59 158	76 759
Изготовление трансформаторов (силовых и специальных)	335 311	800	7 105	7 905
Изготовление распределительных устройств и щитового оборудования	335 313	3 665	37 911	41 576
Изготовление оборудования для монтажа токоведущих проводов	335 931	178	176	354
Изготовление оборудования для монтажа нетоковедущих проводов	335 932	59 633	12 944	72 577
Изготовление электрооборудования и комплектующих (все остальное)	335 999	5 804	4 069	9 873
Изготовление офисной мебели	337 214	111	1 124	1 235
Перевозки по железной дороге	482 111	0	13 292	13 292
Страховые фонды (прочие)	525 190	0	149 261	149 261
Инженерные услуги	541 330	0	700 212	700 212
Научно-технические консультационные услуги	541 690	0	27 041	27 041
Трудовые ресурсы (работающие по трудовому договору)	561 320	239 437	0	239 437
Деятельность по государственному финансированию (на местном уровне)	921 130	0	27 156	27 156
Итого		904 703	2 588 810	3 493 513

Примечание: ОВКВ – отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха

Таблица 9.2: **Прямые трудовые издержки и косвенные трудовые издержки первого порядка на строительство ВВР (1 147 МВт) в США**

(в тысячах долларов США, без учёта рабочих мест в государственном секторе местного и национального уровня)

Общие отрасли NAICS	КОД NAICS	Затраты на рабочую силу АЭС	Прочие расходы АЭС	Мультипликатор доходов отрасли на рабочие места	Годовой фонд заработной платы по сектору (доллары США)	Прямые трудовые издержки	Косвенные трудовые издержки первого порядка*	Итого прямых и косвенных трудовых издержек
Сооружение тяжёлых и других объектов гражданского строительства	237	45 188	208 598	0,375%	56 915	794	782	1 576
Узкоспециализированные строительные подрядчики	238	290 469	205 413	0,601%	44 856	6 476	1 235	7 711
Изготовление конструкций из первичного металла	331	18 679	40 431	0,146%	59 203	316	59	374
Изготовление металлических изделий	332	97 203	491 036	0,408%	48 758	1 994	2 006	3 999
Изготовление машинного оборудования	333	127 332	645 959	0,262%	56 743	2 244	1 695	3 939
Производство компьютерной и электронной техники	334	53 562	97 944	0,273%	73 431	729	268	997
Изготовление компонентов электротехнического оборудования	335	70 080	62 205	0,273%	52 252	1 341	170	1 511
Изготовление мебели и сопутствующих изделий	337	111	1 124	0,512%	37 822	3	6	9
Транспортировка и складирование	48-49	0	13 292	0,589%	42 699	0	78	78
Финансы и страхование	52	0	149 261	0,166%	86 668	0	248	248
Профессиональные, научно-технические услуги	541	0	727 253	0,554%	70 871	0	4 030	4 030
Трудовые ресурсы		853 302			61 405	13 896	10 577	24 473
Трудовые издержки на МВт						12,1	9,2	21,3
Мультипликатор: (косвенные первого порядка)/прямые							0,761	

* Косвенные трудовые издержки первого порядка = прочие расходы АЭС x мультипликатор доходов отрасли на рабочие места

Источник: по материалам готовящегося к публикации отчёта АЯЭ.

Для сравнения приведённых значений с занятостью в других секторах производства электроэнергии, насчитывается около 24 человеко-года на МВт прямых и косвенных трудовых затрат в ходе строительства атомной электростанции (АЭС) и в цепочке поставок (т.е. вдвое больше по сравнению с 12,1 тысячами долларов США/МВт (прямая и косвенная занятость), по табл. 9.2) и около 1,2 рабочего места/МВт (т.е. в два раза больше по сравнению с 0,6/МВт (прямая и косвенная занятость) на этапах эксплуатации, вывода из эксплуатации, переработки и захоронения отходов, т.е. на протяжении более 60 лет (600 сотрудников в период эксплуатации и 580 в период вывода из эксплуатации, переработки и захоронения отходов, плюс косвенные трудовые издержки в течение этих 60 лет).

До сих пор речь шла о строительстве, что же касается эксплуатации, ситуация совершенно иная. Чтобы понять, как в данной области рабочие места распределяются на местном, региональном и национальном уровнях, в табл. 9.3 приведены 15 основных категорий издержек за время эксплуатации АЭС. Следует отметить, что примерно половина рабочей силы АЭС сосредоточена на местном уровне (в округе), а другая половина – в цепочках поставок на региональном (штат) и национальном уровнях.

Но факторы, влияющие на уровень занятости, связаны не только с абсолютными цифрами, но и с качеством рабочих мест. Чтобы понять качество рабочих мест на АЭС, будет не лишним рассмотреть анализ, выполненный преподавателем ядерных технологий Техасского университета А & М Педдикордом (Педдикорд (*Peddicord*), 2010). Предложенная им классификация профессий и степеней, требуемых на АЭС, представлена на рис. 9.1, где «2-годичное образование для получения степени младшего специалиста» может также включать продолженное среднее образование, обучение на рабочем месте и военную подготовку.

Таблица 9.3: Пятнадцать основных годовых эксплуатационных издержек на средней АЭС в США
(в тысячах долларов США по курсу 2013 года)

Наименование по NAICS	Код NAICS	Округ	Штат	Национальный уровень
Всего (из чего 32% составляют трудовые ресурсы)				215 000
Трудовые ресурсы	Трудовые ресурсы	30 700	64 500	68 900
Косвенные налоги	Налоги	6 900	8 500	20 300
Производство прочих основных неорганических химических веществ	325 180	0	200	18 300
Инженерные услуги	541 330	0	7 600	15 100
Добыча всех прочих нерудных полезных ископаемых	212 399	0	0	12 000
Федеральные регулятивные и административные органы	926 130	0	0	14 000
Прочее техническое обслуживание и ремонтно-строительные работы	811 310	1 200	6 100	8 800
Вспомогательные мероприятия по добыче нерудных материалов	213 115	0	0	7 000
Прочие профессиональные и технические услуги	541 300	100	1 500	5 300
Изготовление прочего электротехнического оборудования	335 999	100	1 200	4 300
Другие государственные предприятия на местном уровне и на уровне штата	921 130	600	2 800	3 600
Научно-исследовательские и опытно-конструкторские услуги	541 712	0	100	2 700
Консультационные услуги по охране окружающей среды	541 620	0	1 200	2 700
Производство электроэнергии и трансформаторов	335 311	0	700	2 000
Переработка и захоронение опасных отходов	562 211	100	800	1 900

Источник: АЯЭ, будущее издание.

Рисунок 9.1: Распределение дисциплин для рабочей силы сектора атомной энергетики



Источник: Педдикорд, 2010.

В целом, по данным МАГАТЭ (2011):

[П]ри подборе персонала на АЭС для этапа эксплуатации, выпускники высшего учебного заведения, как правило, составляют меньшую часть общей численности рабочей силы, при этом большая часть рабочей силы приходится на персонал с уровнем «техник» (т.е. персонал, который может иметь только свидетельство об окончании средней школы, дополненное сертификатом о получении какого-либо профессионально-технического образования и/или обучением на рабочем месте. Такие сотрудники меньше нуждаются в «ядерных» знаниях, чем выпускники высшего учебного заведения, но им потребуется значительная подготовка, чтобы понять требования, предъявляемые к качеству и безопасности работы в ядерной сфере, и почему ядерная сфера отличается от других инженерных и промышленных областей. (МАГАТЭ, 2011: с. 19)

Данные требования, предъявляемые к уровню образования, можно сравнить с теми, которые приведены в тематических исследованиях, опубликованных МАГАТЭ (1999). В 1996 году уровень образования сотрудников на АЭС «Дукованы» в Чешской Республике распределялся следующим образом: 1,1% базового образования, 23,6% ученичество или обучение на рабочем месте (вместо среднего образования), 47,1% среднего образования и 28,2% высшего образования. В 1996 году уровень образования на АЭС Блайе во Франции распределялся следующим образом: 25% сотрудников имели степень бакалавра (ВАС), 12% – ВАС + два года, а 4,9% – ВАС + 4 года (где ВАС указывает на окончание среднего образования, но эквивалентно «степени младшего специалиста» на рис. 9.1, т.е., согласно данной интерпретации 25% имели степень «Младший специалист», 12% – степень «Бакалавр» и 5% – «Магистр»). На АЭС Вольсон, в Корее, «большинство сотрудников имеют высшее (48,5%) или профессионально-техническое образование (18,0%); остальные окончили среднюю школу» (МАГАТЭ, 1999: с. 87).

Другие энергетические секторы

Сравнение факторов, влияющих на уровень занятости в атомной промышленности, с соответствующими факторами в других технологиях производства электроэнергии даёт интересные результаты. Поскольку в настоящей главе сравнивается занятость разных технологий производства электроэнергии, в ней непосредственно не рассматривается индуцированная занятость для каждой технологии производства электроэнергии, учитывая то, что было бы трудно выделить индуцированную занятость для отдельных технологий производства электроэнергии. Данное предположение следует за исследованием занятости в сфере технологий, использующих возобновляемые источники энергии, предпринятым Камероном и Ван Дер Званом (2015: с. 162):

Другим важным различием между исследованиями факторов, влияющих на уровень занятости, являются типы рабочих мест, которые в них рассматриваются. Говоря о типе, мы подразумеваем «близость» созданного рабочего места по отношению к данной технологии с точки зрения того, насколько косвенно оно может быть отнесено к определённым инвестициям или, в нашем случае, увеличению мощности производства электроэнергии из возобновляемых источников. Несмотря на то, что в исследованиях рассматриваются различные типы рабочих мест, практически во всех применяются общепринятые определения «прямых», «косвенных» и «индуцированных» рабочих мест. Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) даёт не только чёткое и рабочее определение этих терминов, но также подробно описывает небольшие, но важные различия в их толковании в различных исследованиях (IRENA, 2011).

Прямые рабочие места. Точное определение может иметь варианты, но в целом это рабочие места, связанные с основными видами деятельности, такими как производство/изготовление, строительство, обустройство площадки, установка, эксплуатация и техническое обслуживание (ЭиТО). Число прямых рабочих мест относительно легко определить, а их абсолютное количество находится в прямом соотношении с темпом роста технологий, использующих возобновляемые источники энергии. Все исследования, которые мы рассматриваем, анализируют факторы влияния на рабочие места в сфере возобновляемой энергии.

Косвенные рабочие места. Это рабочие места, связанные с поставками и поддержкой сектора возобновляемых источников энергии на вторичном уровне... Только в небольшой части существующих исследований непосредственно производится расчёт количества косвенных рабочих мест. В некоторых других исследованиях отмечается, что можно прогнозировать косвенные факторы влияния, или непосредственно приводится оценка такого влияния посредством простого мультипликатора.

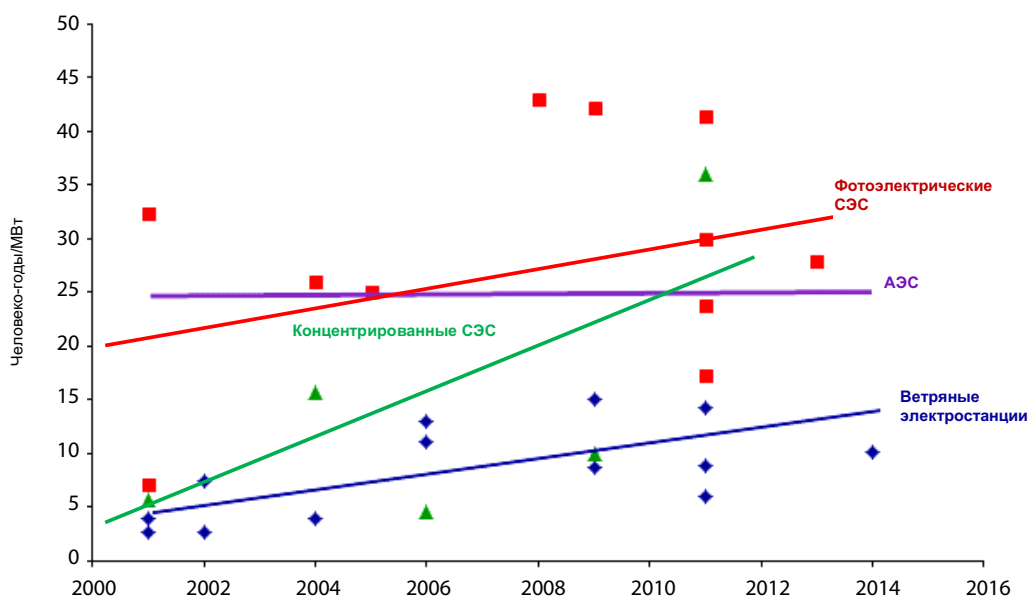
Индуцированные рабочие места. Эти рабочие места возникают в результате экономической деятельности работников, занимающих прямые и косвенные рабочие места... Однако на практике часто бывает сложно дать точное определение индуцированным рабочим местам, поскольку крайне

трудно выделить долю влияния развёртывания возобновляемых источников энергии на занятость в третичном (и четвертичном) секторе экономики. По этой причине и, учитывая недостаток литературы в области индуцированных рабочих мест, мы не включаем индуцированные рабочие места в настоящее исследование. (*Примечание.* Турколиас и Мирасгедис (*Tourkolias and Mirasgedis*), 2011, произвели расчёт индуцированной занятости «на основе модели межотраслевого баланса для греческой экономики»; см. работу Камерона и Ван Дер Звана, 2015: с. 162.)

Сравнение данных, использованных в работе Камерона и Ван Дер Звана, (2015), приведено на рис. 9.2 и 9.3. Принимая во внимание распределение наблюдений, нельзя отвергать гипотезу о том, что атомные электростанции предусматривают большие трудовые затраты (в человеко-годах) в сфере «установки/производства» (строительства и цепочки поставок), чем ветряные электростанции и концентрированные солнечные электростанции (КСЭС), а также большее количество рабочих мест в сфере эксплуатации и обслуживания на МВт, чем ветряные, фотоэлектрические и концентрированные солнечные электростанции. Отказ от этой гипотезы предполагает, что наблюдения носят независимый характер. Это однако противоречит появлению регулярного *увеличения* как количества человеко-лет/МВт, так и числа рабочих мест/МВт в сфере возобновляемых источников энергии в период, когда сообщалось о снижении полной приведённой стоимости возобновляемых источников энергии (см. главу 2). Это может указывать на взаимосвязь с развёртыванием дискуссии о вкладе различных технологий в уровень занятости, т. е. по мере роста политического интереса более активные усилия по поиску факторов положительного влияния на занятость давали желаемые результаты. Такие взаимосвязи, безусловно, являются показателем того, что необходимы дальнейшие исследования, касающиеся значимости уровня трудовых ресурсов в учёте производственных и эксплуатационных затрат на возобновляемые источники энергии.

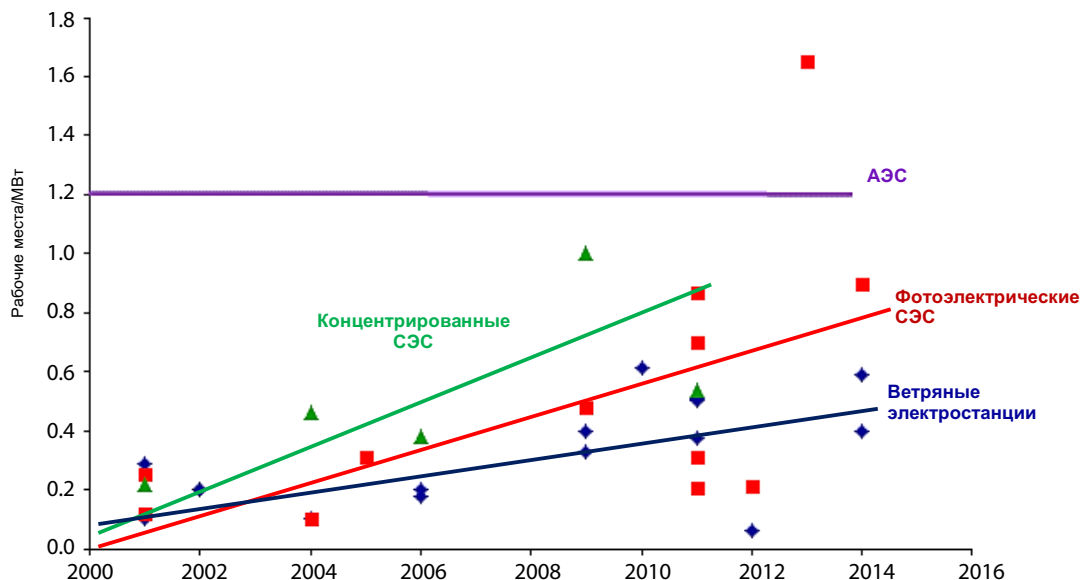
Чтобы понять, как требования к уровню образования для работы на АЭС сравниваются с соответствующими требованиями на электростанциях, использующих возобновляемые источники энергии, ознакомьтесь с данными, касающимися рабочих мест на предприятии-производителе ветроэнергетических установок, приведёнными в табл. 9.4. Согласно данной таблице большинство должностей (46% указанных должностей) требуют профессионального уровня, полученного в ходе обучения на рабочем месте, обычно доступного через цеховые профсоюзы; для 31% должностей требуется аттестат о среднем образовании; для 23% – получение степени младшего специалиста и для 7% – высшее инженерное образование. Даже если оно несравнимо с требованиями к эксплуатации АЭС (которую можно было бы сравнить с заводом по изготовлению модулей для малого модульного реактора (ММР), несмотря на то, что общедоступной информации об организации заводов по изготовлению модулей для малых модульных реакторов мало; см. EPI, 2010: с. 28), число инженеров, необходимых для производства ветроэнергетических установок, намного меньше того числа, которое необходимо для производства и эксплуатации ядерных реакторов, но аналогично количеству инженеров, необходимых для эксплуатации установки по переработке и захоронению отходов (АЯЭ, готовится к публикации: с. 79).

Рисунок 9.2: **Человеко-годы на МВт при производстве и установке с прямыми, отражающими тенденцию**



Источник: по материалам Камерона и Ван Дер Звана, 2015.

Рисунок 9.3: Сравнение факторов прямой занятости в сфере ЭИТО (в рабочих местах/МВт) для наземных ветряных, фотоэлектрических и концентрированных солнечных электростанций по годам публикации с прямыми, отражающими тенденцию



Источник: по материалам Камерона и Ван Дер Звана, 2015.

Таблица 9.4: Некоторые должности на предприятии-производителе ветроэнергетических установок в штате Огайо в 2006 году

Должность	Требуемый уровень образования	Численность персонала	Средняя зарплата (в долларах США)	Почасовая зарплата (в долларах США)	Общая сумма зарплат (в долларах США)
Клерки, уборщики помещений и разнорабочие	Средняя школа	16	33 794	16,90	540 700
Специалисты по сборке	Средняя школа	47	34 189	17,10	1 606 900
Торговые представители, представители службы поддержки	Младший специалист	2	39 100	19,60	78 200
Станочники и операторы	Обучение на рабочем месте	66	39 408	19,70	2 600 900
Чертежники	Младший специалист	2	39 900	20,00	79 800
Сварщики, резчики, лудильщики и паяльщики	Обучение на рабочем месте	4	39 900	20,00	159 600
Инспекторы, тестировщики, сортировщики и операторы по отбору проб	Обучение на рабочем месте	8	40 400	20,20	323 200
Секретари-референты	Бакалавр	2	43 200	21,60	86 400
Инструментальщики	Обучение на рабочем месте	6	43 733	21,90	262 400
Работники по техническому обслуживанию и ремонту	Обучение на рабочем месте	4	44 100	22,10	176 400
Слесари, электрики и техники	Обучение на рабочем месте	7	48 429	24,20	339 000
Торговые представители и агенты по закупкам	Бакалавр	5	55 840	27,90	279 200
Супервайзеры, бухгалтеры и аудиторы	Магистр	12	59 633	29,80	715 600
Механики	Бакалавр	15	71 480	35,70	1 072 200
Руководители	Магистр	9	107 333	53,70	966 000
Другие работники	Не известно	45	49 700	24,90	2 236 500
Общая сумма зарплат (для 126 должностей)		250	46 092	23,00	11 523 000

Источник: по материалам Национальной академии наук США, 2010.

Что касается рабочих ресурсов по эксплуатации и техническому обслуживанию на наземной ветряной электростанции, согласно PayScale (2017), www.payscale.com (обновлено 4 мая 2017 года):

«Техники на ветряных электростанциях в Соединенных Штатах Америки в основном мужчины, зарабатывающие в среднем 21,17 долларов США в час. Техники, обслуживающие ветрогенераторы, определяют, проверяют, обслуживают и ремонтируют ветрогенераторы для обеспечения надлежащего контроля качества. Цель их работы заключается в поддержании низкого уровня затрат на техническое обслуживание и высокого уровня качества.

Относительно техников (ЭиТО) на солнечных электростанциях, (Крон (*Chron*), 2017) <http://work.chron.com/pay-scale-solar-energy-technician-19567.html>.

По состоянию на 2012 год средняя заработная плата по данным отчетов техников, работающих на солнечных электростанциях, составляла 19,53 доллара США в час и 40 620 долларов США в год. 50% техников с медианным уровнем заработка, работающих на солнечных электростанциях, подали отчет о годовом доходе в пределах от 31 150 до 47 620 долларов США. По данным Бюро статистики труда США 10% самых низкооплачиваемых техников, работающих на солнечных электростанциях, зарабатывали до 12,62 доллара США в час и до 26 250 долларов США в год, в то время как 10% самых высокооплачиваемых техников – от 27,88 доллара США в час и от 57 980 долларов США в год. (Крон, 2017)

Такой уровень заработной платы (он мало изменился в период с 2012 по 2017 год в Соединенных Штатах Америки) можно сравнить с уровнем заработной платы в сфере обслуживания АЭС, составляющим 26,25 доллара США в час или 52 000 долларов США в год, и с уровнем заработной платы операторов АЭС, составляющим 72 000 долларов США в год. Информация на сайте: www.payscale.com/research/US/Job=Nuclear_Technician/Hourly_Rate.

Для сравнения количества рабочих мест, оценка которых приводится в публикации Камерона и Ван Дер Звана (2015), с количеством рабочих мест, географически расположенных вблизи площадки ядерной установки, т. е. на местном уровне, см. табл. 9.5.

Таблица 9.5: Местные (в пределах округа) рабочие места в ЭиТО различных технологий выработки электроэнергии, упорядоченные в соответствии со средней мощностью электростанции

Технология	Рабочие места/МВт	Средний размер (МВт)	Местные прямые рабочие места
Атомные электростанции	0,50	1 000	504
Угольные электростанции	0,19	1 000	187
Гидроэлектростанции > 500 МВт	0,11	1 375	156
Гидроаккумулирующие электростанции	0,10	890	85
Гидроэлектростанции > 20 МВт	0,19	450	86
Концентрированные солнечные электростанции	0,47	100	47
Газовые турбины комбинированного цикла (ГТКЦ)	0,05	630	34
Фотоэлектрические электростанции	1,06	10	11
Микрогидроэлектростанции < 20 МВт	0,45	10	5
Ветряные электростанции	0,05	75	4

Источник: Харкер и Хиршбук, 2010.

В соответствии с предположениями и источниками данных в исследовании Харкера и Хиршбука (2010), Харкер был главой энергетического отдела Navigant Consulting):

В анализе не учитывались косвенные и индуцированные рабочие места, используемые в различных моделях, так как с точки зрения местного управления экономического развития, данные рабочие места могут быть временными или находиться за пределами рассматриваемой зоны. Также не учитывались налоги – в целях упрощения анализа – потому как местные налоговые органы часто предоставляют разные уровни налоговых льгот для проектов. При выполнении анализа различных технологий были использованы фактические данные о наборе кадров для электростанции и масштабах из различных

информационных источников. Данные были получены из ежегодных кадровых обзоров компании Navigant Consulting, бенчмаркинговых исследований, баз данных отдела кадров электростанций и в ходе консультаций с промышленными экспертами. Первым шагом в проведении анализа было сравнение количества местных прямых рабочих мест на МВт установленной мощности каждой технологии... Данные показали, что различные технологии имеют значительно отличающиеся уровни занятости. Фотоэлектрические солнечные электростанции промышленного масштаба обеспечивают наибольшее число рабочих мест на МВт установленной мощности, так как они в основном требуют большого количества персонала на площадке для очистки солнечных панелей и обеспечения безопасности электростанции. Однако на площадке имеется лишь малое количество рабочих мест для квалифицированных сотрудников по той причине, что большинство фотоэлектрических электростанций получает временную квалифицированную рабочую силу посредством долгосрочных соглашений о предоставлении услуг с оригинальными производителями оборудования. При сравнении атомная энергетика является технологией, требующей большого уровня трудозатрат, когда речь идёт о создании постоянных прямых рабочих мест. (Харкер и Хиршбук, 2010: с. 1-2)

При анализе данных рис. 9.5 с данными рис. 9.2 и 9.3., атомная энергетика имеет меньшее количество рабочих мест на МВт, чем рассчитанное в отчёте АЯЭ (готовится к публикации), 0,5 рабочего места на МВт по сравнению с 0,6 рабочего места на МВт (однако здесь не учтены рабочие места вне площадки или рабочие места в цепочке поставок для нужд эксплуатации электростанции). Значение 1,06 рабочего места на МВт для фотоэлектрической энергетики выше, чем найденное в литературе Кэмероном и Ван Дер Званом (2015). Значение 0,47 рабочего места на МВт для концентрированной солнечной энергетики занимает среднее положение в распределении, указанном в публикации Кэмерона и Ван Дер Звана. Однако значение 0,05 рабочего места на МВт для ветроэнергетики ниже всех значений, указанных в литературе, использованной в публикации Кэмерона и Ван Дер Звана (2015). Предположение, в соответствии с которым большинство рабочих мест в ветроэнергетике не являются местными, подкрепляется выявлением того, что в ней меньше местных рабочих мест по техническому обслуживанию и безопасности, чем в солнечной энергетике; данная информация подлежит сравнению с оценкой, сделанной в публикации Штайнберга, Порро и Голдберга (*Steinberg, Porro and Goldberg*), 2012, показывающей 0,06 рабочего места на МВт для ветроэнергетики. Следовательно, необходимы дополнительные исследования для определения количества рабочих мест, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием в наземной ветроэнергетике. Однако как было отмечено в работе Кэмерона и Ван Дер Звана (2015):

Несмотря на существование широкого консенсуса о том, что возобновляемые источники энергии ведут к нетто-созданию рабочих мест по сравнению с производством электроэнергии на основе ископаемого топлива при идентичной мощности, основанного на ограниченном количестве исследований, рассматривающих и сравнивающих факторы влияния на занятость в секторах, использующих возобновляемые источники, и секторах, использующих традиционные методы выработки электроэнергии, факт нетто-создания рабочих мест можно подвергнуть сомнению. Большое разнообразие факторов, влияющих на занятость в секторах, использующих возобновляемые источники, которое наблюдается в разных исследованиях, подтверждает это сомнение. Мы были не в состоянии выявить факт проведения точной сравнительной оценки факторов влияния на занятость в технологиях, использующих возобновляемые источники энергии, с технологией тепловой генерации электроэнергии, не говоря уже о нахождении факта сравнительной оценки, основанной на общепринятой и прозрачной методологии определения факторов влияния на занятость различных технологий. Даже наиболее совершенные модели могут быть поставлены под сомнение ввиду различных допущений. Например, детализированная модель межотраслевого баланса, разработанная Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Германии [BMU, 2011] прогнозирует нетто-создание рабочих мест в большинстве сценариев, однако для достижения такого результата требуется экспорт технологий, основанных на возобновляемых источниках энергии. Данное требование даёт преимущества производству электроэнергии на основе возобновляемых источников (по крайней мере, в сравнении с другими национальными спецификами, где экспорт может не иметь значения), поскольку традиционные технологии экспорта не предполагают. (Кэмерон и Ван Дер Зван, 2015: с. 164)

Далее в публикации Харкера и Хиршбука (2010) представлены количества рабочих мест на МВт для технологий на основе ископаемого топлива, т. е. для угольных электростанций и электростанций, применяющих газовые турбины комбинированного цикла (ГТКЦ), с соответствующими значениями 0,19 рабочего места на МВт (в сравнении с 0,18 рабочего места на МВт в публикации Синга и Ферса (*Singh and Fehrs*), 2011: с. 26) и 0,05 рабочего места на МВт (в сравнении с 0,07 рабочего места на МВт для 15 электростанций, использующих природный газ, указанных в работе Хивнера и Черчилля (*Heavner and Churchill*), 2002: с. 14). Далее, в отличие от публикации Кэмерона и Ван Дер Звана (2015), в работе Харкера и Хиршбука (2010) предоставлены данные по усреднённым масштабам различных производственных предприятий и уровню местной прямой занятости, значения находятся в диапазоне от 504 рабочих мест на 1 000 МВт для АЭС до 10 рабочих мест на 10 МВт (усреднённая мощность) для фотоэлектрической электростанции. Масштабы электростанций дают представление об уровне занятости, а не просто о показателе занятости на МВт.

9.3. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

В данной главе были рассмотрены оценки занятости для АЭС (из отчёта АЯЭ, готовящегося к публикации), для электростанций, использующих возобновляемые источники энергии (Кэмероном и Ван Дер Званом сделан обзор оценок 70 исследований) и для электростанций, работающих на ископаемом топливе (Харкер и Хирсбрук, 2010). В результате установлено, что атомная энергетика является сектором, имеющим больший уровень трудозатрат, чем все иные технологии выработки электроэнергии и предъявляет более высокие требования к уровню образования, чем секторы энергетики на основе возобновляемых источников. Касательно требований к уровню образования в электроэнергетическом секторе, широкого обсуждения данной темы не наблюдается, за исключением атомной энергетики, где вопрос о необходимости подготовки персонала для строительства новых атомных объектов обусловлен предстоящим в ближайшее время выходом на пенсию сотрудников сектора. Исходя из имеющихся данных, требования к уровню образования (а также к уровню заработной платы), являются более высокими в секторах строительства и эксплуатации АЭС, но, возможно, данные уровни не столь высоки в секторах вывода из эксплуатации, обработки и захоронения отходов, как в секторе наземной ветроэнергетики, а также в секторе фотоэлектрической и концентрированной солнечной энергетики.

Список литературы

- BMU (2011), *Renewably Employed: Short and Long-term Impacts of the Expansion of Renewable Energy on the German Labour Market*, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin.
- Cameron, L. and B.C.C. van der Zwaan (2015), "Employment factors for wind and solar energy technologies: A literature review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, data in Appendix, pp. 160-172, http://documentin.com/article/employment-factors-for-wind-and-solar-energy-technologies-a-literature-review_59408b6e1723dd980780b8fd.html.
- Chron (2017), Pay Scale for a Solar Energy Technician (web page), <http://work.chron.com/pay-scale-solar-energy-technician-19567.html>.
- EPI (2010), *Economic and Employment Impacts of Small Modular Reactors*, Boise State University, Boise, Idaho, www.ourenergypolicy.org/economic-and-employment-impacts-of-small-modular-nuclear-reactors.
- Harker, D. and P. Hans Hirschboeck (2010), "Green Job Realities: Quantifying the Economic Benefits of Generation Alternatives", Figure 3, published in the May 2010 issue of *Public Utilities Fortnightly* (Publisher), permission provided by the publisher, www.fortnightly.com/fortnightly/2010/05/green-job-realities.
- Heavner, B. and S. Churchill (2002), *Renewables Work: Job Growth from Renewable Energy Development in California*, CALPIRG Charitable Trust, Sacramento, CA, www.policyarchive.org/handle/10207/5556.
- IAEA (2011), *Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes*, NG-T-3.10, IAEA, Vienna, www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8488/Workforce-Planning-for-New-Nuclear-Power-Programmes.
- IAEA (2009), *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*, IAEA, Vienna, www.iaea.org/Publications/Booklets/ROK/rok0809.pdf.
- IAEA (1999), *Evaluating and Improving Nuclear Power Plant Operating Performance*, TECDOC- 1098, Rothwell, G. (Editor), IAEA, Vienna, www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/5380/Evaluating-and-Improving-Nuclear-Power-Plant-Operating-Performance.
- IRENA (2011), "Renewable Energy Jobs: Status, Prospects & Policies", *Working paper*, Abu Dhabi, www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RenewableEnergyJobs.pdf.
- NAS (2010), "Chapter 6. Deployment of renewable electric energy", in *Electricity from Renewable Resources*:

Status, Prospects, and Impediments, NAS, National Academies Press, Washington, DC, p. 255, www.nap.edu/catalog/12619/electricity-from-renewable-resources-status-prospects-and-impediments.

NEA (2016), *Cost of Decommissioning Nuclear Power Plants*, OECD, Paris, www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7201-costs-decom-npp.pdf.

NEA (forthcoming), *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, OECD, Paris.

ORNL (2011), *Advanced High Temperature Reactor Systems and Economic Analysis*, ORNL/TM- 2011/364, prepared by ORNL under the direction of UT-Battelle, Oak Ridge, <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub32466.pdf>.

ORNL (1988), *Technical Reference Book for the Energy Economic Data Base Program EEDB-IX (1987)*, DOE/NE-0092, prepared by United Engineers and Constructors, Inc., Philadelphia, PA, under the direction of ORNL, Oak Ridge, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:20008702.

PayScale (2017), PayScale (web page), www.payscale.com.

Peddicord, L. (2010), "Coordination of University, Vocation School, High School and Industry: Education and Training for Nuclear Power", in the Proceedings of the *International Conference on Human Resource Development for Introducing and Expanding Nuclear Power Programmes*, 16-19 March 2010, Abu Dhabi, www-pub.iaea.org/iaeameetings/38090/International-Conference-on-Human-Resource-Development-for-Introducing-and-Expanding-Nuclear-Power-Programmes.

Singh V. and J. Fehrs (2011), *The Work that Goes into Renewable Energy*, Renewable Energy Policy Project, Washington, DC, www.globalurban.org/The_Work_that_Goes_into_Renewable_Energy.pdf.

Steinberg, D., G. Porro and M. Goldberg (2012), *Preliminary Analysis of the Jobs and Economic Impacts of Renewable Energy Projects Supported by the \$1603 Treasury Grant Program*, NREL/TP-6A20-52739, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado.

Tourkolias, C. and S. Mirasgedis (2011), "Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece", *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 15, pp. 2876-86, http://documentin.com/article/quantification-and-monetization-of-employment-benefits-associated-with-renewable_594293e01723ddf6517eb98.html.

US Census Bureau (2016), *Economic Census: Industry Snapshots* (web page), www.census.gov/econ/snapshots/index.php.



Глава 10. Влияние инноваций в энергетике на экономические показатели и рост

10.1. Введение

Энергетическая система тесно переплетена множеством сложных связей на макроэкономическом уровне. Использование энергии настолько широко распространено во всей экономике, что волны инноваций в области энергоснабжения и использования электроэнергии вызвали значительные изменения в обществе и экономических показателях. В нынешних условиях для политиков крайне важно предвидеть, каким образом переход на низкоуглеродную энергетику повлияет на экономику и будет ли он способствовать или препятствовать макроэкономическому развитию. Поэтому данная глава имеет несколько более широкий масштаб по сравнению с другими. Авторы, тем не менее, сочли важным включить её в настоящий отчёт, чтобы обеспечить понимание со стороны политиков более широких экономических последствий энергетической политики, выходящих за пределы факторов затрат, которые прежде всего приходят на ум.

Инновации как движущая сила экономической деятельности являются постоянной темой. Инвестиции в низкоуглеродную энергетику и, в частности, в повышение энергоэффективности, имеют потенциально важные макроэкономические последствия, выражающиеся, среди прочего, во влиянии на рост, рабочие места, конкурентоспособность, экономическую устойчивость за счёт повышения надёжности энергоснабжения... В данном контексте технологические инновации в энергетике играют решающую роль в определении будущих изменений в структуре энергоснабжения, энергоэффективности и управлении потреблением энергии посредством управления спросом. Инновации воспринимаются как основное средство перехода к низкоуглеродным энергетическим системам, о чём свидетельствует, например, запуск инициативы «Миссия инноваций», о которой было объявлено в 2015 году во время собравшей мировых лидеров конференции по климату в Париже.¹ Инновации, которые ограничивают или устраняют выбросы, неблагоприятно воздействующие на здоровье и климат, путём продвижения экологически чистых способов производства и использования энергии, а также повышения энергоэффективности, способствуют отделению аспектов экономического роста от аспектов ущерба, наносимого окружающей среде, и, следовательно, ослаблению факторов долгое время значимым образом ограничивающих экономический рост.

Вопрос определения того, каким образом и в какой степени на рост могут повлиять технологические инновации в энергетических системах, касающиеся спроса, так и предложения, остаётся открытым. Необходимо улучшить и расширить моделирование, чтобы обеспечить политиков инструментами, позволяющими принимать обоснованные стратегические решения по инвестициям в энергетику, которые наилучшим образом будут способствовать глобальному росту и конкурентоспособности в экологически устойчивом будущем.

В данном контексте инновации следует понимать в смысле, более широком, чем узко определённый процесс исследований, разработок и демонстрации (ИРиД) в области энергетики, который также охватывает использование результатов ИРиД для их эффективного, крупномасштабного

1. «Миссия инноваций» (<http://mission-innovation.net>) является инициативной 22 стран Европейского союза, направленной на «существенное ускорение инноваций в области чистой энергии». В рамках этой инициативы страны-участники взяли на себя обязательство «удвоить» инвестиции собственных правительств в исследования и разработки в области чистой энергии в течение пяти лет, поощряя при этом более высокие уровни инвестиций частного сектора в преобразующие технологии чистой энергии. Эти дополнительные ресурсы существенно ускорят появление передовых технологий, которые определяют будущую глобальную структуру энергетики, которая будет чистой, доступной и надёжной.

развёртывания на рынке и, как следствие, ожидаемые более значимые выгоды для экономики. В то время как существуют консолидированные источники информации о бюджетах ИРИД, предоставляемые государственным сектором (как правило, делая акцент на более низкие уровни готовности технологий), оценка затрат и окупаемости от развёртывания на рынке, с экономической точки зрения, является более сложным процессом ввиду наличия как множества способов финансирования инноваций на более высоких уровнях готовности технологий, так и множества путей воздействия инноваций на экономические показатели и рост.

Данная глава даёт лишь первое представление о взаимодействиях между ИРИД в области энергетики, всей цепочкой инноваций и мировым благосостоянием. Лучшее понимание этих взаимодействий действительно может помочь улучшению целенаправленности ограниченного государственного финансирования исследований в области энергетики и дать стимул частному сектору к более активному участию в инновациях, способствуя ускоренному выходу лучших технологий на рынок для своевременного достижения целей по сокращению выбросов углерода, согласованных на конференции по климату в Париже.

10.2. Состояние исследовательской деятельности, основные исследования и количественные оценки

Традиционный подход к оценке экономических вкладов

Традиционный подход к оценке вклада сектора в экономику состоит в расчёте добавленной стоимости и занятости на предприятиях, работающих в данном секторе. При систематическом применении во всех секторах такой подход позволяет избежать двойного учёта. Но этот способ оценки вклада одного сектора, в данном случае энергетического, не принимает во внимание добавленную стоимость, связанную с восходящими и нисходящими производственными этапами, поскольку она учитывается как добавленная стоимость других секторов. Это особенно актуально в отношении косвенных и динамических побочных эффектов инноваций, пересекающих границы секторов.

Таблица 10.1. Перечень исследований по взаимосвязи между энергией и ростом

Причинно-следственная связь между энергией и ростом				
Крафт и Крафт (<i>Kraft and Kraft</i>), 1978	Соединенные Штаты Америки	1947-1974	Причинность проистекает от роста и ведет к потреблению энергии	Использованный метод: тест Грэнджера на причинность
Ю и Хван (<i>Yu and Hwang</i>), 1984	Соединенные Штаты Америки	1947-1979	Отсутствие причинности	Использованный метод: испытание Сима
О и Ли (<i>Oh and Lee</i>), 2004	Корея	1970-1999	Причинность проистекает от потребления энергии и ведет к росту	Использованный метод: тест Грэнджера и модель исправления ошибок
Волде-Руфаэль (<i>Wolde-Rufael</i>), 2004	Шанхай	1952-1999	Причинность проистекает от потребления энергии и ведет к росту	Использованный метод: тест причинности Тода-Ямамото
Сойтас и Сари (<i>Soytas and Sari</i>), 2009	Турция	1960-2000	Отсутствие причинности	Использованный метод: тест причинности Тода-Ямамото
Янг (<i>Yang</i>), 2000	Китайский Тайбэй	1954-1997	Двунаправленная причинность	Использованный метод: тест Грэнджера - векторная авторегрессия
Цани (<i>Tsani</i>), 2010	Греция	1960-2006	Однонаправленная причинность, которая проистекает от совокупного потребления энергии и влияет на объём производства	Использованный метод: тест причинности Тода-Ямамото
Менегаки (<i>Menegaki</i>), 2011	27 стран ЕС	1997-2007	Отсутствие причинности	Использованный метод: тест причинности в панельных данных и однонаправленная модель со случайными эффектами
Менегаки и Оцтрук (<i>Menegaki and Oztruk</i>), 2013	26 стран ЕС	1975-2009	Причинность проистекает от потребления энергии (ископаемое топливо) и ведет к росту	Использованный метод: модель корректировки динамической погрешности
Юкан и др. (<i>Ukan et al</i>), 2014	15 стран ЕС	1990-2011	Причинность проистекает от потребления энергии из невозобновляемых источников и ведет к экономическому росту	Использованный метод: тест интеграции панельных данных

Источник: ЕК, 2016а.

Секторы производства энергии и энергоэффективности создают спрос на продукцию секторов, производящих необходимое оборудование, поддерживая создание добавленной стоимости и занятость в этих секторах (которые могут находиться в других странах). Аналогичным образом надёжное энергоснабжение по конкурентным ценам, а также повышение энергоэффективности поддерживают конкурентоспособность потребителей энергии. В обоих случаях добавленная стоимость учитывается не в статистике энергетического сектора, а в секторах, обеспечивающих предшествующие и последующие операции производственного цикла.

В ряде исследований предпринимались попытки продемонстрировать и установить связь между энергией и ростом. Список приведен в табл. 10.1. Очевидно, что никаких определённых выводов не появляется, что может быть связано с использованием разных эконометрических методик, спецификой изучаемых стран и разными анализируемыми периодами. Однако можно заметить, что большинство исследований указывают на некоторую форму причинной зависимости между энергией и ростом.

Анализ торговых балансов

Кроме указанных традиционных способов изучения воздействия энергии на рост, более точная оценка глобальных экономических последствий и побочных эффектов инноваций в секторе энергетики в широком смысле, от ИРиД до использования результатов на рынке и развёртывания чистых технологий, является следующим шагом, который ещё предстоит сделать. Определённую идею можно получить при анализе, например, торговых балансов в секторах энергетики, где поддержка инноваций стала движущей силой недавнего ускорения развёртывания на рынке. Например, замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии и мировой рынок соответствующего оборудования, создают как возможности, так и риски для национальных или региональных торговых балансов. В случае Европейского союза (ЕС) наблюдается отрицательное сальдо торгового баланса с Китаем в области компонентов для солнечной энергетики, при этом Китай является крупнейшим производителем солнечных панелей, чья доля в мировом производстве составляет 65 % и 90 % экспорта которого на 80 % обеспечивают потребности рынка ЕС. С учётом торговой выгоды, получаемой от экспорта оборудования для солнечной энергетики в страны, не входящие в ЕС, такие как Япония и США, отрицательное сальдо внешней торговли для ЕС в 2010 году составило 21 млрд евро, а в 2012 году упало до 9 млрд евро. В отличие от торговли компонентами для солнечной энергетики, ЕС имеет солидное положительное сальдо в торговле компонентами для ветроэнергетики, которое в 2012 году составило 2,5 млрд евро.

В масштабах всего ЕС, с учётом данного примера, влияние на торговый баланс было довольно ограниченным. Как следствие, можно более тщательно проанализировать случай страны, где политика инноваций в области возобновляемых источников энергии была особенно сильной. Интересен пример Германии: анализе торгового баланса компонентов для солнечной энергетики и ветроэнергетики в 2012 году показывает, что отрицательное сальдо оборудования для солнечной энергетики едва было уравновешено положительным сальдо компонентов для ветроэнергетики (1,9 млрд евро), т. е., в этом случае также влияние было ограниченным. Это всего лишь отдельные примеры. Такой анализ должен проводиться для всех экологически чистых технологий, включая атомную энергетику и сектор энергоэффективности, в мировом масштабе, по регионам и странам.

Влияние на занятость

За последние десятилетия также был проведён ряд исследований, в которых было выявлено влияние повышения энергоэффективности, инвестиций и улучшения низкоуглеродных технологий на занятость. В большинстве этих исследований нетто-эффект влияния на занятость является положительным. Однако очень сложно пытаться сравнивать соответствующие эффекты различных источников производства энергии и энергоэффективности, так как исследования опираются на сценарии с разными конкретными основополагающими допущениями.

В качестве примера можно привести недавнее исследование, проведённое Поллиттом и др. (*Pollitt et al.*) (2015) для Генерального директората по проблемам климата ЕС, ссылки на которое приводятся в работе Стоуна (*Stone*) (2015). В исследовании производится анализ влияния трёх энергетических сценариев на занятость в масштабе Европейского союза. В базовом сценарии (обычный ход деятельности, ОХД), включающем только уже принятые меры, в результате моделирования прогнозировалось семикратное увеличение цены на единицу сокращения выбросов и потеря 2 миллионов рабочих мест в период с 2020 по 2030 год в связи с сопряжённым снижением уровня населения трудоспособного возраста после 2020 года. В первом сценарии перехода на низкоуглеродные источники энергии (при достижении 40-процентного сокращения выбросов в 2030 году) цена на единицу сокращения выбросов увеличивается в восемь раз и, по сравнению со сценарием ОХД, сохраняется 680 000 рабочих мест. Во втором сценарии перехода на низкоуглеродные источники энергии (с дополнительными строгими мерами по повышению энергоэффективности и 30-процентной долей

возобновляемых источников энергии в потреблении энергии) цена на единицу сокращения выбросов только удваивается и, по сравнению со сценарием ОХД, сохраняется 1,2 миллиона рабочих мест. Следует отметить, что результаты в значительной мере зависят от того, каким образом доходы от выплат за выбросы возвращаются потребителям, как в виде прямых платежей, так и при использовании доходов для компенсации подоходных налогов. Компенсация налогов на рабочую силу даёт лучшие результаты с точки зрения сохранённых рабочих мест для сценария 1 по сравнению со сценарием 2. В исследовании делается вывод о том, что принятие более агрессивной политики в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективности (влияние атомной энергетики не является центральным в исследовании) положительно повлияет на занятость, создавая возможности для расширенных и экономически более привлекательных инвестиций.

Другой пример, сфокусированный на атомной энергии, можно найти в документе, представленном в 2013 году на пленарном заседании Европейского форума по ядерной энергии (ЕНЕФ), о социально-экономических выгодах также для Европейского союза в области атомной энергетики на период до 2050 года. Исследование основывается на сценариях, разработанных Европейской комиссией для «Энергетической дорожной карты-2050» (Гринпис, 2011). В соответствии с так называемым «диверсифицированным» энергетическим сценарием, моделирующим сбалансированную структуру выработки электроэнергии, в 2050 году общая мощность действующих атомных электростанций в ЕС составит приблизительно 100 ГВт_е. Данный уровень мощности близок к уровню мощности атомных электростанций, находящихся в эксплуатации в настоящее время. Поскольку к тому времени подавляющее большинство существующих атомных электростанций будет закрыто, даже при условии долгосрочной эксплуатации, основная часть вклада дополнительной «деятельности в области атомной энергетики» с точки зрения рабочих мест будет главным образом обеспечена программами продления срока эксплуатации действующих атомных электростанций, строительства новых и вывода из эксплуатации. Эти рабочие места будут дополнительными по отношению к рабочим местам, связанным с выполнением операций по «нормальной эксплуатации и техническому обслуживанию», уровень которых будет практически стабильным во времени при условии, что уровень общей мощности действительно будет более или менее постоянным. В документе ЕНЕФ (2013), в котором к странам-членам ЕС применяются результаты исследования, проведенного аудиторско-консалтинговой компанией PWC для Франции, прогнозируется, что в среднем количество создаваемых прямых рабочих мест в данном сценарии составит около 50 000 за период 2012 – 2050 гг., с пиками, приближающимися к 100 000 в периоды активного строительства новых электростанций (с 2030 по 2040 гг.). Анализ общего количества рабочих мест (прямых, косвенных и индуцированных) показывает, что цифры практически умножаются на три, составляя в среднем около 150 000 в течение всего периода и 350 000 в период пиковой активности. Как уже упоминалось, эти рабочие места создаются дополнительно к «базовым» рабочим местам в секторе европейской атомной энергетики, обеспечивающим операции «нормальной эксплуатации и технического обслуживания» существующих электростанций: 250 000 прямых рабочих мест и 800 000 рабочих мест всего, согласно ЕНЕФ.

Помимо непосредственного воздействия на рабочую силу в самом секторе энергетики, результаты анализа которого указаны выше, инвестиции в низкоуглеродную энергетику и энергоэффективность могут способствовать дальнейшему расширению занятости: если инвестиции приводят к сокращению общих затрат на производство энергии, улучшается конкурентоспособность промышленности и сокращается бюджет домашнего хозяйства на электроэнергию, благодаря чему высвобождаются денежные средства для дальнейшего использования в экономике, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему увеличению занятости.

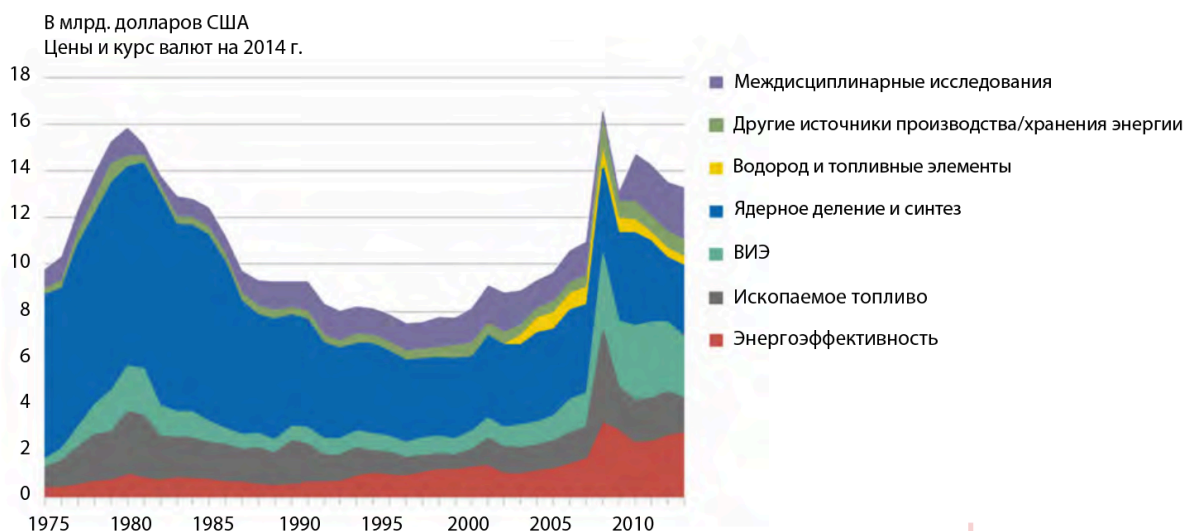
Бюджет на НИОКР, потребление энергии и рост

Уделяя внимание конкретному аспекту поддержки, оказываемой ещё не достигшим зрелости технологиям, в виде стимула для инноваций до наступления этапа развёртывания, можно рассмотреть некоторые цифры предыдущих бюджетов в области ИРиД, связанных с энергетическим сектором, и перспективы будущей тенденции, а также проанализировать, можно ли и каким образом соотносить её с потреблением энергии, энергоёмкостью и глобальным ростом.

Консолидированные данные по бюджетам ИРиД в области энергетики, финансируемых государством, касающиеся прошлые лет, можно найти в ежегодном обзоре стран-членов Международного энергетического агентства (МЭА). На рис. 10.1, отображающем динамику изменения объёма бюджетов на различные источники энергии и энергоэффективность, приведённых к курсу доллара США на 2014 год, можно наблюдать: 1) резкое увеличение бюджетов в первые годы после 1975 года в качестве реакции на первый нефтяной кризис, достигшее пика в 1980 году; затем 2) тенденцию к снижению до 2000 года; 3) повторное увеличение, отражающее большинство новых проблем, в частности, связанных с климатом, приводящих к активизации усилий в сфере ИРиД в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективности. С 2000 года государственный бюджет на ИРиД в области возобновляемых источников энергии был увеличен примерно в пять раз, а в области энергоэффективности – примерно в два раза. В 2009 году наблюдался резкий пик, связанный главным образом с исходными данными США за этот год. Что касается атомной энергии, которая на графике

включает ИРид по ядерному делению и термоядерному синтезу, наблюдается постоянное снижение, начавшееся в 1980 году с примерно 8 млрд долларов США в год, выделявшихся главным образом на исследования в области управляемого деления ядра, до менее чем 3 млрд долларов США на сегодняшний день, причём теперь сравнительно большая часть финансирования приходится на исследования в области термоядерного синтеза.

Рисунок 10.1: **Динамика государственных затрат на НИОКР в области энергетики в Европе**
(Цены и курс валют на 2014 г., в млрд долларов США)



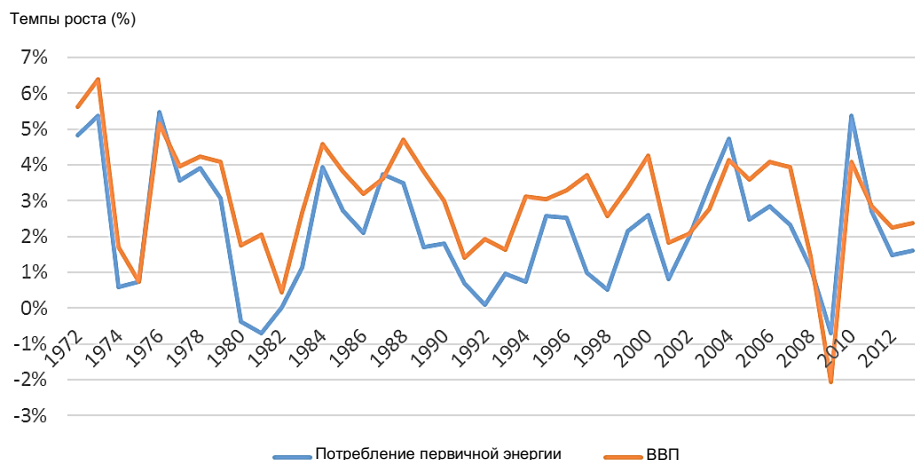
Источник: ЕК, 2016а.

Инвестиции государственного сектора стран-членов МЭА в сфере ИРид в области энергетики, сделанные в прошлом, могут быть отражены в тенденциях, касающихся мирового валового внутреннего продукта (ВВП) и потребления первичной энергии, показанных на рис. 10.2.

В течение последних пятидесяти лет существует тесная связь между темпами роста ВВП и темпами роста потребления первичной энергии. Последние в большинстве случаев немного медленнее первых, что отражает постоянное совершенствование (т. е. снижение) энергоёмкости и структурные изменения в экономике. Инновации в ИРид в области энергетики, безусловно, влияют на эти факторы, но, анализируя кривые, приведённые на рис. 10.2 выше, на первый взгляд, невозможно найти связь между динамикой изменения объёма государственных бюджетов на ИРид в области энергетики с одной стороны и динамикой изменения ВВП с другой: мировой ВВП большую часть времени был положительным, тогда как бюджеты на ИРид сильно сокращались с 1980 по 2000 год, а затем увеличивались в течение последних 15 лет.

Было бы целесообразным провести более точный анализ, разделив два периода времени и приняв во внимание тот же географический охват по бюджетам на ИРид и ВВП. Действительно, если в период 1980-2000 гг. большая часть ИРид в области энергетики осуществлялась в странах МЭА, то с 2000 года ряд стран, не являющихся членами ОЭСР, в частности в Азии, увеличили свой вклад. Кроме того, акцентирование внимания программы научных исследований разительно отличалось между двумя периодами, причём в странах МЭА в первый период основное внимание уделялось атомной энергии со средним темпом роста ВВП более 2 %, тогда как второму периоду был характерен более сбалансированный подход между ИРид в области атомной энергии, возобновляемых источников энергии и энергоэффективностью, а средние темпы роста ВВП приближались к 1 %.

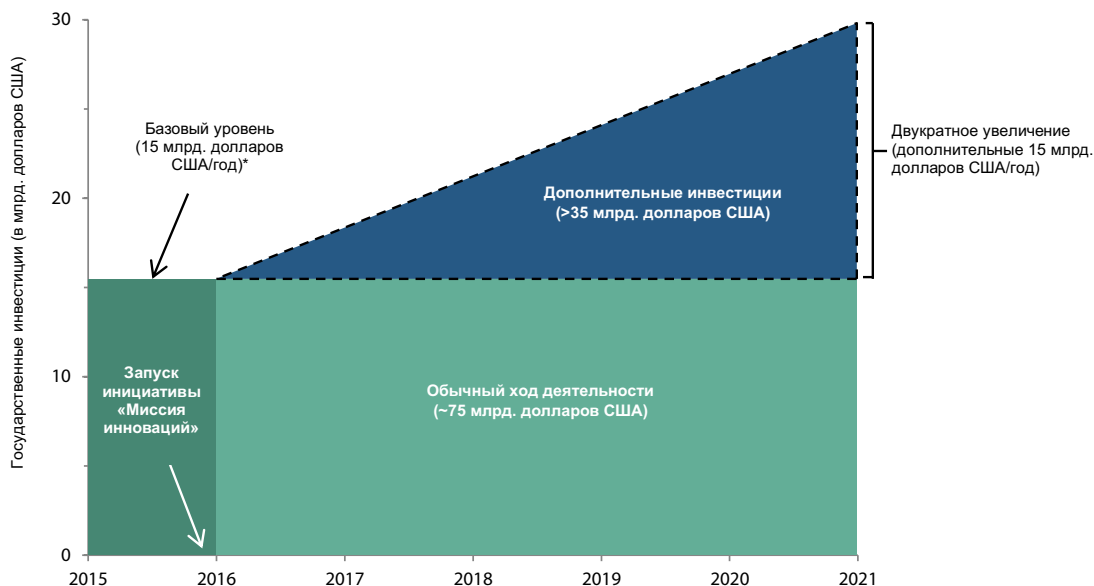
Рисунок 10.2: **Динамика роста потребления энергии и ВВП**



Источник: ЕК, 2016а.

Статистические данные за последние годы показывают, что для развитых стран характерно устранение связи между потреблением первичной энергии и ВВП благодаря инвестициям для повышения энергоэффективности и снижения энергоёмкости. Однако эта тенденция, которая не относится к развивающимся странам, ещё подлежит проверке в течение более продолжительного периода времени. Кроме того, как упоминалось в работе Штерна (*Stern*) (2004), в глобальной перспективе (единственной, которая имеет значение для таких вопросов, как изменение климата) необходимо учитывать перенос энергоёмких производственных процессов из развитых стран в развивающиеся, в ходе которого потребление энергии смещается в эти страны, при том, что готовая продукция учитывается и используется в развитых странах. В мировом масштабе может существовать некий предел, достигнув которого развивающиеся страны не смогут повторить структурное изменение, произошедшее в экономике развитых стран. Поэтому необходимо на мировом уровне перейти к низкоуглеродным источникам энергии (с очень низким уровнем выбросов углерода) и к энергоэффективной экономике.

Рисунок 10.3: **График инвестиций в НИОКР в области чистой энергии в рамках инициативы «Миссия инноваций»**



* Базовый уровень финансирования инициативы «Миссия инноваций» в размере 15 млрд долларов США в год на НИОКР в области чистой энергии рассчитан на основе сумм, содержащихся в отчётах 21 участника инициативы «Миссия инноваций».

Источник: «Миссия инноваций».

Для определения будущих тенденций в сфере НИОКР в области энергетики, финансируемых государством, можно рассмотреть обязательства, принятые 22 странами и ЕС в рамках «Миссии инноваций» в ходе подготовки конференции по климату в Париже, по удвоению их усилий к 2020 году. В табл. 10.2 и на соответствующем рис. 10.3 представлены исходные уровни годового финансирования, заявленные в 2016 году, и мировая тенденция к 2020 году. Информация взята с сайта инициативы «Миссия инноваций» (<http://mission-innovation.net>).

Таблица 10.2: **Обзор обязательств по государственному финансированию НИОКР в области энергетики в рамках инициативы «Миссия инноваций»**

Страна	Базовая сумма, заявленная в июне 2016 года, если не указано иное	
	(в млн в валюте согласно заявлениям, в год)	(в млн долларов США в год ¹)
Австралия ²	AUD 108	81
Бразилия	BRL 600	150
Канада	CAD 387	295
Чили	USD 41 856	4
Китай	RMB 25 000	3 800
Дания	DKK 292	45
Европейский союз	EUR 989	1 111
Финляндия	EUR 54,9	58
Франция	EUR 440	494
Германия	EUR 450	506
Индия	INR 4 700	72
Индонезия	USD 16,7	17
Италия	EUR 222,6	250
Япония	JPY 45 000	410
Мексика	USD 20,71	21
Нидерланды	EUR 100	113
Норвегия	NOK 1 132	140
Корея	USD 490	490
Саудовская Аравия	SAR 281,3	75
Швеция	SEK 134	17
Объединенные Арабские Эмираты	USD 10	10
Великобритания	GBP 200	290
США ²	USD 6 415	6 415
Итого		14 864

1. Конвертация производилась по курсу на момент представления базовых сумм, в период с ноября 2015 года по июнь 2017 года.

2. Австралия обновила свою базовую сумму со 104 млн австралийских долларов, заявленных в июне 2016 года, до 108 млн австралийских долларов в июне 2017 года.

3. В настоящее время США пересматривают уровни финансирования своей деятельности в рамках инициативы «Миссия инноваций».

Между тем, как большинство стран обещали удвоить базовый уровень финансирования, некоторые из них указали, что превысят данные обязательства. В первую очередь это касается Индонезии, которая обещает увеличить объём с 17 млн долларов США в 2016 году до 150 млн США в 2020 году. Нидерланды указали на перспективу выделения 237 млн евро в год на 2016–2020 гг., что более чем вдвое превышает 100 млн евро за 2015 год.

В табл. 10.3 дано общее представление о том, на какое направление НИОКР в области энергетики страны-участницы инициативы «Миссия инноваций» решили сделать акцент.

Таблица 10.3: Обзор приоритетных направлений НИОКР в области энергетики в рамках инициативы «Миссия инноваций»

	AUS	BRA	CAN	CHL	CHN	DNK	EU	FIN	FRA	DEU	IND	IDN	ITA	JPN	SAU	MEX	NLD	NOR	KOR	SWE	ARE	GBR	USA
Промышленность и строительство	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Автомобили и другие транспортные средства	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Биотопливо и энергия	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Энергия солнца, ветра и другие возобновляемые источники энергии	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Атомная энергия	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Водород и топливные элементы	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Более чистая энергия на основе ископаемого топлива	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Улавливание, утилизация и хранение CO ₂	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Энергосети	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Накопление и хранение энергии	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Фундаментальные исследования в области энергетики	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Показатели даны для ключевых областей инвестиций в НИОКР, при этом они не отражают всесторонней полной программы НИОКР каждой страны.

Источник: «Миссия инноваций».

Финансирование НИОКР в мировом масштабе

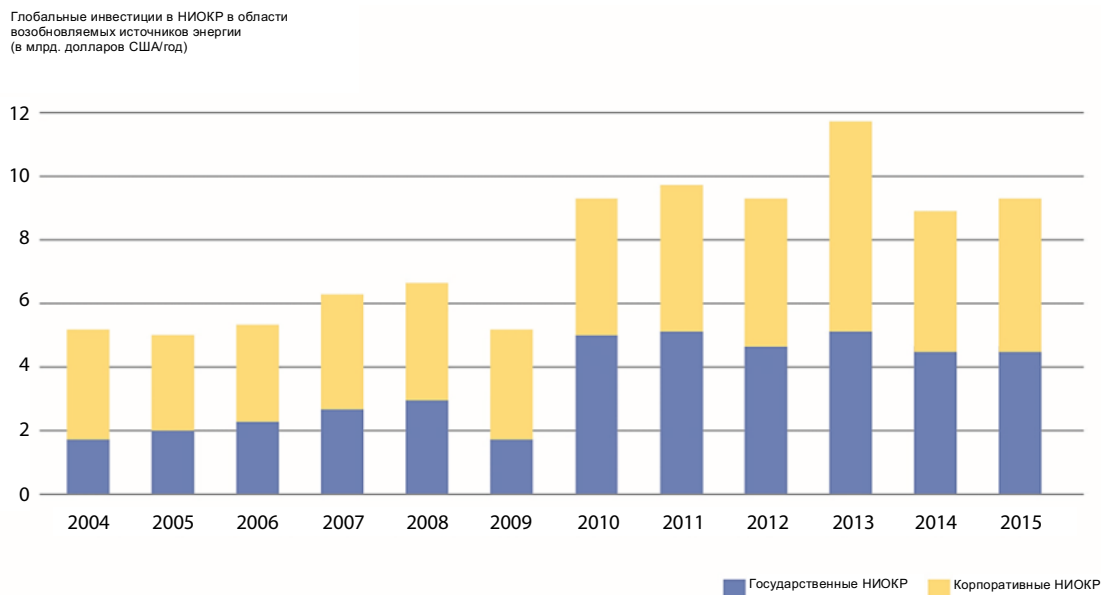
Выход за рамки финансируемых государством НИОКР необходим для определения стоимости всего инновационного процесса, охватывающего не только НИОКР, финансируемые из частных источников, но и создание рынка и его развёртывание. Первая, хотя и не полная, программа «Оценки мировых энергетических ресурсов», начатая в 2012 году, координируемая Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA), принимающей во внимание мобилизацию ресурсов в мировом масштабе как в области энергетических технологий со стороны спроса и предложения, так на различных этапах инноваций, предполагает: 1) текущие инвестиции в НИОКР в размере около 50 млрд долларов США; 2) инвестиции в формирование рынка, в основном опирающиеся на целевую поддержку государственной политики в размере около 150 млрд долларов США; и 3) инвестиции, оцененные в сумме от 1 до 5 триллионов долларов США, для поддержки широкого распространения зрелых технологий энергоснабжения и улучшения конечного использования энергии.

Большинство стран с развивающейся экономикой, в первую очередь Китай, а также Индия и Бразилия, стали играть более значимую роль в НИОКР мирового масштаба в области энергетических технологий, причём объём инвестиций государственного и частного секторов приближается к 20 млрд долларов США, что составляет почти половину всего объёма, указанного выше, и существенно превышает данные по НИОКР, финансируемым на государственном уровне, стран-членов МЭА, составляющих в среднем 13 млрд долларов США в год за последние годы. Существуют значимые пробелы в данных и информации по всем этапам инвестиций в инновации в области энергетических технологий, выходящих за пределы НИОКР, финансируемых на государственном уровне, в странах МЭА, особенно в том, что касается инвестиций частного сектора в НИОКР, связанные с недавно созданными специфическими технологиями, и инвестиций в НИОКР стран, не являющихся членами МЭА, а также по инвестициям для поддержки распространения технологий улучшения конечного использования энергии.

Платформа Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA) (2017), объединяющая более 50 стран, занимающихся НИОКР в области возобновляемых источников энергии, собрала данные о расходовании средств, поступающих как из источников государственного, так и частного финансирования, на НИОКР в области возобновляемых источников энергии за 2004–2015 гг. Как показано на рис. 10.4, в 2010 году произошёл всплеск, однако с тех пор этот показатель остаётся стабильным. Данные по государственному финансированию согласуются с данными МЭА.

Рисунок 10.4: **Глобальные инвестиции в НИОКР в области возобновляемых источников энергии**

(в млрд долларов США в год)



Источник: IRENA, 2017 на основе данных, предоставленных базой данных Bloomberg New Energy Finance.

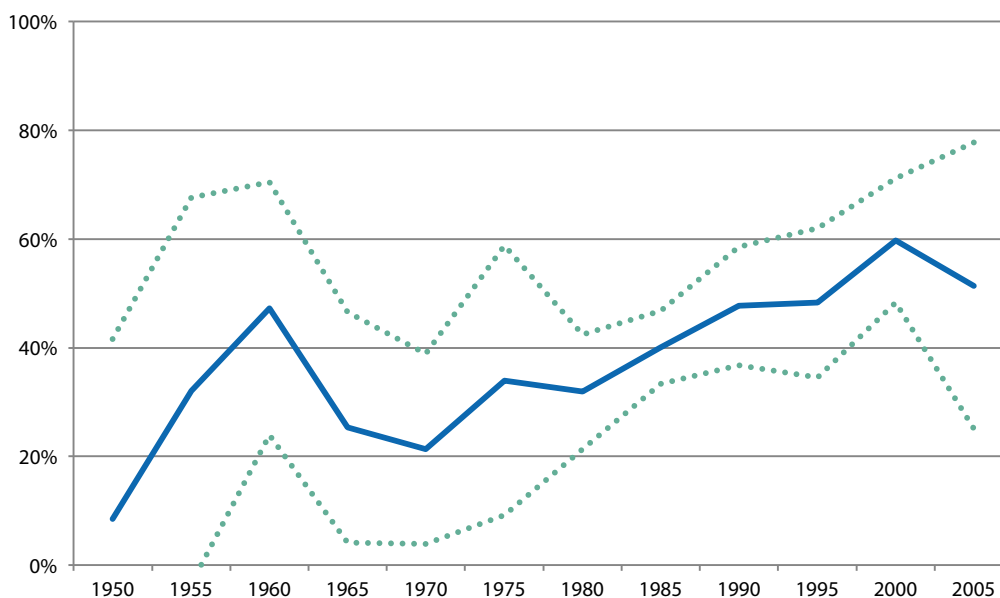
При анализе инвестиционных потоков на разных этапах инновационного процесса выявляется несоответствие в распределении ресурсов и потребностях. На ранних этапах инновационного процесса государственное финансирование НИОКР в значительной степени ориентировано на крупномасштабные технологии, влияющие на предложение. Менее 10 млрд из вышеупомянутых 50 млрд долларов США выделяется на технологии улучшения конечного использования и энергоэффективности. Далее в процессе инноваций ежегодные инвестиции в распространение на рынках технологий, влияющих на предложение, составляют примерно 0,8 трлн долларов США по сравнению с 1-4 трлн для технологий, влияющих на спрос. Однако эти относительные пропорции в недостаточной мере отражаются в побуждениях к финансированию развёртывания технологий на рынке, фокусируясь почти исключительно на технологиях, влияющих на предложение в ущерб технологиям, улучшающим конечное использование энергии в целом и энергоэффективность в частности, а также связанной с ними занятости и эффектам, стимулирующим экономический рост.

В ходе недавних исследований (CER, 2014) была предпринята попытка проанализировать, является ли финансирование НИОКР оправданным с точки зрения побочных эффектов для экономики. В частности, в исследовании рассматривается поддержка инноваций в области экологически чистых технологий производства электроэнергии по сравнению с «грязными» (возобновляемые источники энергии по сравнению с ископаемым топливом) и в транспортном секторе. Первый из вышеприведённых вариантов для нас представляет непосредственный интерес, даже если второй также непосредственно влияет на сокращение выбросов парниковых газов (ПГ). Проанализировав количество ссылок на запатентованные изобретения в сфере «чистых» технологий в секторе электроэнергетики, по сравнению с «грязными», в ходе исследования был обнаружен разрыв почти в 50 %, и этот разрыв постоянно увеличивается в последние 50 лет, как указано на рис. 10.5. Это явным образом свидетельствует о более значительных преимуществах, имеющихся у чистых технологий.

Эффекты перетока знаний из области чистых технологий кажутся сопоставимыми по масштабам с эффектами, оказываемыми сектором информационных технологий (ИТ), который считается движущей силой так называемой третьей промышленной революции. При сравнении «чистых», «грязных» и «новых» технологий (ИТ, нанотехнологии, робототехника, 3D и т. д.) со всеми другими изобретениями, запатентованными в экономике, существует чёткая классификация с точки зрения перетока знаний: «грязные» технологии находятся ниже, чем обычные изобретения, а «чистые» и «новые» технологии демонстрируют большие эффекты перетока знаний. В то же время «новые» технологии демонстрируют большие эффекты перетока знаний по сравнению с обычными изобретениями, чем «чистые». Эти различия могут быть объяснены сочетанием уровня новизны и примечательности для конечных

пользователей: несмотря на то, что ИТ-средства и возобновляемые источники энергии могут рассматриваться как новинки, новизна первых гораздо более примечательна для конечных пользователей в их повседневной жизни, чем способы производства электроэнергии.

Рисунок 10.5: **Пробел в перетоках знаний между «чистыми» и «грязными» технологиями для производства электроэнергии**



Синяя кривая = пробел. Зеленая пунктирная линия = доверительный интервал 95 %.

Источник: Дешелепретр, Мартен и Моне (Dechezleprêtre, Martin and Mohnen), в публикации CEP, 2014, <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1300.pdf>.

10.3. Методологические вопросы, ограничения и неопределённость

Систематизированных данных, касающихся инноваций частного сектора и связанных с ними инвестиций, не очень много. Информация о побочных эффектах инноваций и их заимствовании между разными технологиями, секторами и странами является разрозненной. Темпы обесценивания знаний, происходящего по причине инвестиций в инновации, также не прослеживаются достаточно чётко.

Моделирование

Анализ, выполненный в целях оценки потенциальных межотраслевых и общеэкономических воздействий политики, направленной на обеспечение устойчивого, безопасного и конкурентоспособного будущего для энергетического сектора, как правило, предусматривает создание количественных моделей с применением общеэкономических макроотраслевых инструментов. Один из ключевых уроков заключается в том, что выводы, сделанные в отношении масштаба, а порой и направления экономического воздействия политик, поощряющих распространение низкоуглеродных технологий и практик, значительным образом отличаются от одной модели к другой по причине различия теоретических основ, предположений и, соответственно, самого процесса моделирования.

В случае равновесных моделей с эффектом вытеснения частных инвестиций вследствие роста государственного финансирования, переход на новые источники энергии, требующий большого объёма инвестиций, вытесняет ресурсы, которые могли бы более продуктивно использоваться в других сферах экономики, обеспечивая в краткосрочной перспективе субоптимальный баланс при более низком ВВП. Однако в долгосрочной перспективе ВВП восстанавливается по мере накопления опыта, упрощения процедуры перехода к использованию других ресурсов и снижения затрат на импортируемое ископаемое топливо (ЕК, 2016a и 2016b).

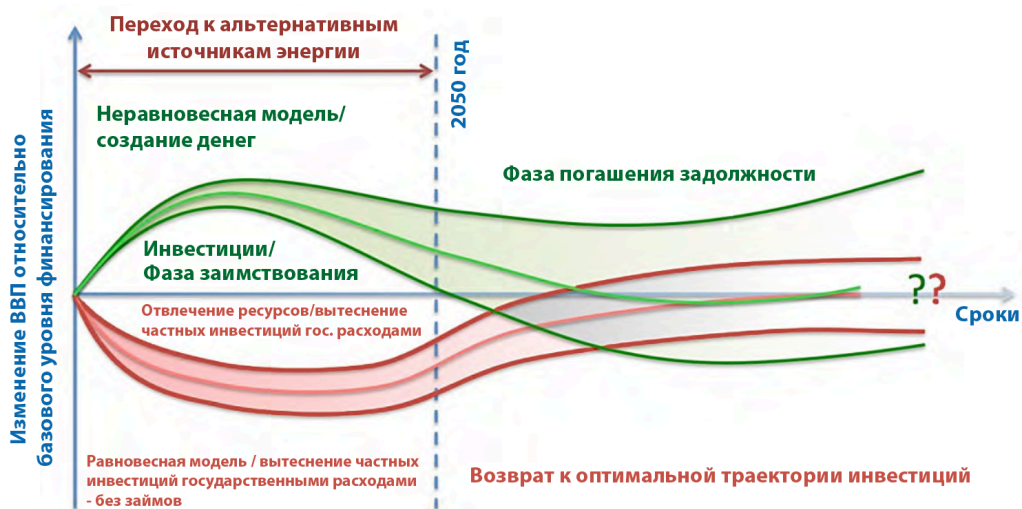
В случае неравновесных моделей программа перехода на новые источники энергии, требующего большого объёма инвестиций, приводит к созданию дополнительных рабочих мест и росту ВВП в краткосрочной и среднесрочной перспективе, однако грозит сокращением или даже потерей макроэкономической выгоды в долгосрочной перспективе, в зависимости от условий погашения задолженности. Это объясняется тем, что деньги создаются на ранней стадии, обеспечивая финансирование строительства и повышая активность в секторе экономики, тем самым повышая долговую нагрузку, которая остаётся и в долгосрочной перспективе. После окончания процедуры перехода затраты уменьшаются, а долговые обязательства остаются, тем самым снова снижая доходы до тех пор, пока экономике не даётся новый импульс, а долги не рефинансируются. Производительность долгосрочного характера может сохраняться в долгосрочной перспективе в результате осуществления совокупных инвестиций в новую технологию и оборудование. С точки зрения краткосрочной перспективы, если переход на низкоуглеродные источники происходит быстрее чем темпами, позволяемые скоростью оборачиваемости капитала, возникают дополнительные затраты, связанные со списанием основных фондов до того, как они смогут себя окупить. Такие затраты могут превышать доходы от создания новых рабочих мест (там же).

Это в упрощённом виде демонстрирует, как модели могут иметь абсолютно противоположные результаты для экономики перехода на более устойчивые ресурсы. Уровень неопределённости тоже будет разным. В случае равновесной модели неопределённость, связанная с принятыми решениями, находится в линейной зависимости от неопределённости, связанной с параметрами. В случае неравновесной модели неопределённость параметров приводит к разным сценариям, по причине чего результаты моделирования в долгосрочной перспективе являются значительно более неточными по сравнению с результатами в краткосрочной перспективе.

Этот процесс показан на рис. 10.6. Здесь отображается тенденция поведения ВВП (относительно базового уровня финансирования), касающегося стратегически ориентированного перехода на более устойчивые ресурсы для двух моделей – равновесной и неравновесной. На рисунке показан случай, когда такой переход на низкоуглеродные источники энергии финансируется либо путём самофинансирования, либо путём займов от нулевой отметки времени до вертикальной пунктирной линии (которая здесь соответствует 2050 году), после чего такое финансирование прекращается. Верхняя и нижняя границы отображают диапазон неопределённости.

Таким образом, необходимо: 1) обеспечить наличие исчерпывающей информации в отношении теоретического происхождения расхождений в результатах между моделями с точки зрения инноваций – как энергетические инновации, технологические изменения и их финансирование представлены в теории и в моделях, и каковы связанные с этим последствия; 2) выявить пробелы в знаниях в отношении факторов, стимулирующих и препятствующих инновациями – что замедляет темп технологических изменений и инноваций; и 3) определить основные недостатки в существующих моделях.

Рисунок 10.6: Отображение тенденций поведения ВВП при финансировании перехода на низкоуглеродные источники энергии для двух разных экономических моделей



Источник: ЕК, 2016b.

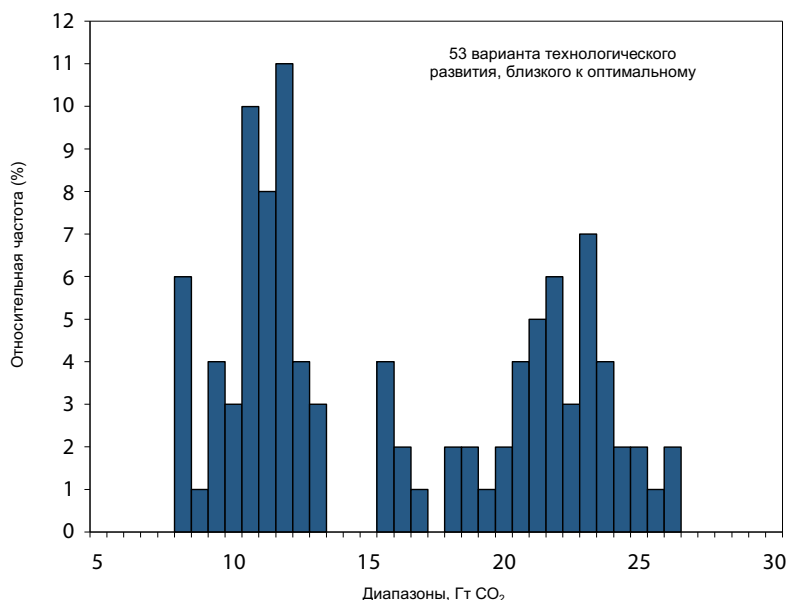
Некоторые результаты

Несколько обзорных исследований посвящено осуществлению инноваций в энергетическом секторе в рамках макроэкономических моделей. Эти работы имеют ряд недостатков, поскольку фазы реализации недостаточным образом учитываются в существующих моделях. В частности, они не привязываются к системе внедрения инновационных технологий в области энергетики (ETIS) и не полностью описывают, как именно происходит финансирование, внедрение и распространение инноваций. Необходимо должным образом провести моделирование технологического толчка и давления рыночного спроса, поскольку именно благодаря их комбинации обеспечивается лучшая перспектива ускорения темпов процесса с обеих сторон цепочки инноваций.

Как уже указывал в своей работе Грабб (*Grubb*) (2005), большинство моделей глобальной энергетической системы воспроизводит технологические изменения в виде предположения, внешнего по отношению к модели, а затраты на будущие технологии просто вносятся автором модели и не рассматриваются в рамках предполагаемых издержек на сокращение выбросов и цен на единицу выбросов для разных сценариев управления. Это аналогично действию технологического толчка со стороны предложения и не соответствует накапливающейся в ходе изучения рыночных технологий информации. Фактически, инновация представляет собой продукт комплексной системы, где эффект обратной связи на разных этапах инновационной цепочки и способность учиться на рыночном опыте являются ключевыми элементами.

На рис. 10.7, взятом из исследования Грабба (2005), показано распределение значений относительной частоты глобальных выбросов углерода, планируемых на 2100 год, для 53 сценариев, разработанных Международным институтом прикладного системного анализа, где общие дисконтированные затраты энергетических систем составляют 1 % от минимума, полученного в результате применения модели накопления опыта (также см. работу Грицевского и Накиченевича (*Gritsevsky and Nakicenovic*), 2002).

Рисунок 10.7: **Частотное распределение глобальных выбросов CO₂ в 2100 году для 53 сценариев с наименьшими затратами (в рамках расхождения в 1 %), выполненное Международным институтом прикладного системного анализа**



Источник: Грабб, 2005.

Согласно рис. 10.7, некоторые сценарии требуют дальнейшего изучения энергетической системы с высоким уровнем выбросов, другие — низкоуглеродной системы, однако заранее невозможно предположить, какая из них будет сопряжена с большими, а какая — с меньшими затратами, даже если они кардинально отличаются с точки зрения технологий, структур, ресурсов и воздействий на окружающую среду.

Аналогичные результаты, но в другом формате, были получены Папанатсью и Андерсоном (*Papanathsiou and Anderson*) (2002), о чём указывается в работе Грабба (2005), которые в процессе моделирования вероятностной плотности чистых издержек, связанных со сценариями использования возобновляемых источников энергии, обнаружили, что издержки главным образом распределяются около нулевой точки. Иными словами, учитывая неопределённость темпов накопления опыта, результаты моделирования показывают, что в зависимости от выбора параметров накопления опыта использование возобновляемых источников энергии, требующее масштабных инвестиций, может обходиться дешевле или дороже использования технологий с высоким уровнем выбросов.

Принимая это к сведению, интересно отметить, что все сценарии развития энергетического сектора ЕС, использовавшиеся для поддержки «Энергетической дорожной карты» Европейской комиссии (ЕК, 2011b): базовый сценарий ОХД, сценарий повышенной энергоэффективности, сценарий диверсификации источников энергии, сценарий масштабного использования возобновляемых источников энергии, сценарий масштабного улавливания и хранения углерода при низком уровне использования ядерной энергии, сценарий масштабного использования ядерной энергии при низком уровне улавливания и хранения углерода, дают практически одинаковые результаты с точки зрения глобальных общественных затрат, требующих около 1,8 трлн евро в год на период 2011-2020 гг., около 2,45 трлн евро в год на период 2021-2030 гг. и около 3 трлн евро в год на период 2031-2050 гг.

Для политики на высоком уровне вывод всех исследований сводится к тому, что даже учитывая все неопределённости, связанные с предположениями и моделированием, структура энергетики будущего потребует значительных инвестиций. Кроме того, переход на низкоуглеродные источники энергии не будет чрезмерно дорогостоящим по сравнению с использованием традиционных технологий. Таким образом, необходимость проведения исследований для улучшения процесса моделирования и снижения степени неопределённости не должна служить предлогом для отсрочки принятия упреждающих мер по декарбонизации энергетики посредством продвижения низкоуглеродных источников и определения сбалансированной структуры энергетических систем. Оптимального сочетания различных источников энергии, вероятно, достигнуть не удастся, однако можно добиться надлежащего равновесия между защитой окружающей среды, экономикой и надёжностью энергоснабжения, что позволит принимать наиболее рациональные решения.

10.4. Перспективы интернализации

Поскольку использование энергоресурсов касается всех уровней экономики, политические меры в области влияния на спрос на энергию и использование в оптимальном сочетании разных видов топлива оказывают масштабные воздействия. Они не ограничиваются базовыми показателями ВВП, а включают в себя далеко идущие эффекты и последствия для государственного бюджета, рынка труда, а также более широкой области социальных показателей, здоровья, состояния окружающей среды и конкурентоспособности частного сектора. Необходимы модели, учитывающие эти эффекты и последствия, как способ их интернализации и получения представления о компромиссах и факторах взаимодополняемости, существующих между политическими целями в различных областях.

Однако способ интернализации будет зависеть от модели, используемой для оценки последствий внедрения инноваций для глобальной экономики. В равновесных моделях сокращение выбросов парниковых газов или уровня загрязнения всегда влечёт за собой высокий уровень затрат, если заинтересованными субъектами экономической деятельности не произведена интернализация внешних эффектов. В неравновесных моделях политическое вмешательство влияет на траекторию экономического развития. Разница между этими двумя типами моделей всегда была чётко определена как разница в степени, в которой инвестиции в низкоуглеродные технологии, поощряемые политическим вмешательством, «вытесняют» другие инвестиции, которые были бы сделаны в противном случае. В равновесных моделях предполагается наличие ограниченных ресурсов, при котором инвестиции в низкоуглеродные технологии вытесняют другие способы употребления финансовых средств, что ведёт к появлению альтернативных издержек, которые не наблюдаются в неравновесных моделях, в которых не учитывается ограниченность ресурсов (ЕК, 2016а и 2016б).

Как указывалось в исследовании СЕР (2014), которое, в свою очередь, опирается на ряд других работ, экономисты сходятся во мнении, что сами по себе рыночные механизмы не могут обеспечить внедрение оптимального количества «зелёных» инноваций ввиду комбинированного действия отрицательных экологических внешних эффектов (экологические выгоды не оцениваются рынками надлежащим образом) и положительных внешних эффектов, связанных с получением опыта (субъекты инновационной деятельности не получают достаточной выгоды от использования новых технологий). Однако в случае создания механизма интернализации внешних экологических издержек, на первый взгляд, исключается необходимость политических мер поддержки научных исследований, направленных исключительно на изучение низкоуглеродных технологий. Положительные внешние эффекты от использования полученных знаний могут быть получены путём задействования общепринятых инструментов, таких как систематическая защита прав интеллектуальной собственности. Однако,

теоретически, субсидирование частных НИОКР должно отражать масштаб внешних побочных эффектов таких исследований. Следовательно, оптимальный уровень субсидирования НИОКР, связанных с низкоуглеродными технологиями, зависит от масштабов побочных эффектов знаний, полученных в результате исследования данных технологий, в сравнении с масштабами побочных эффектов знаний, происходящих из других технологий, в частности, технологий на основе ископаемого топлива, которые они заменяют.

10.5. Выводы и ключевые вопросы для лиц, определяющих политику

Технологические изменения в энергетическом секторе способствуют экономическому развитию с точки зрения: 1) добавленной стоимости, доходов и занятости, создаваемых в результате производства, преобразования и распределения, включая производство соответствующего оборудования; 2) функционирования экономики, предприятий и домашних хозяйств, зависящих от дешёвого и надёжного энергоснабжения; и 3) волн инноваций и вызываемых ими побочных эффектов как со стороны спроса, так и со стороны предложения, которые тесно связаны с изменениями в обществе и экономических показателях.

Сбор данных, в частности, касающийся бюджетов финансирования инноваций в области энергетических технологий, нуждается в улучшении для охвата полного процесса с ранних этапов ИРиД до полного развёртывания на рынке. Данные также должны охватывать не только государственный, но и частный сектор. Аргумент об интеллектуальной собственности, несмотря на то, что он имеет силу в некоторых случаях, не должен препятствовать развитию стандартизированных механизмов сбора, компиляции и публикации срочно необходимых глобальных данных о бюджетах финансирования инноваций в области энергетических технологий.

Для определения воздействия энергетических инноваций на мировую экономику и рост требуется более тонкий анализ. Экономические энергетические модели, используемые в литературе, лишь частично обрабатывают данные, касающиеся технологических изменений. Требуется дальнейшее исследование для анализа цепочки создания стоимости инноваций (от ИРиД до освоения на рынке) в широком международном масштабе с оценкой влияния инноваций и технологических изменений, вызванных энергетической политикой, на рост с учётом разнообразия моделей поведения субъектов экономической деятельности в отношении низкоуглеродной энергетики, находящихся в свою очередь под влиянием энергетических политик, которые со временем могут изменяться.

Исследование, целью которого являлся анализ изменений энергоёмкости, объясняет существенную часть изменений улучшениями технологической эффективности. Такие улучшения являются результатом решений поставщиков по введению новшеств с использованием более эффективного оборудования, а также решений потребителей энергии об инвестировании в данное оборудование. Политики и разработчики энергетических моделей должны учитывать причины принятия данных решений: политическое регулирование, цены на электроэнергию, условия финансирования, меры стимулирования ИРиД и инноваций, а также доступность знаний и распространение соответствующих побочных эффектов.

Необходимость учёта последних аспектов подтверждена исследованием СЕР (2014), которое доказывает, что в отношении политики в области изменения климата установление цен на выбросы должно быть дополнено специальной поддержкой инноваций в области чистых технологий, например, посредством дополнительного субсидирования НИОКР, что выходит за рамки существующей стандартной политики для интернализации внешних эффектов, касающихся знаний. Действительно, более масштабные побочные эффекты экологически чистых технологий, по сравнению с «грязными» технологиями, оправдывают более высокие субсидии в наилучших условиях внедрения политики. Принципиально новые экологически чистые технологии должны получать большую государственную поддержку, чем НИОКР, нацеленные на улучшение существующих «грязных» технологий; поддержку, в которой может быть отказано при дефиците государственного финансирования. Переориентация инноваций с «грязных» технологий на экологически чистые уменьшает стоимость экологических политик и может привести к более быстрому экономическому росту в краткосрочной перспективе, если выгода от более масштабных побочных эффектов превышает данные затраты.

Бюджеты государственного финансирования ИРиД в области энергетики в странах-членах МЭА, были частично улучшены, увеличившись с 2000 года практически в два раза и достигнув в итоге 14 миллиардов долларов США, что однако остаётся ниже 16 миллиардов долларов США, выделенных в 1980 году после первого нефтяного кризиса (оба значения приведены к курсу доллара США на 2014 год). В программе ИРиД в области энергетики произошло радикальное преобразование и на данный момент существует практически равное соотношение между энергоэффективностью, возобновляемой и ядерной энергией (управляемое деление ядра и термоядерный синтез) по сравнению с преобладанием технологии управляемого деления ядра в 1980 году. В то же время эти финансовые усилия нуждаются

в поддержке и ускорении, если действительно сохраняется цель производства электроэнергии с выбросами ПГ, близкими к нулю. Таким образом, обязательства, принятые 22 странами (и ЕС) в рамках «Миссии инноваций», в отношении удвоения государственного финансирования ИРиД в области низкоуглеродной энергетики являются принципиально важными, и в будущем может потребоваться их дальнейшее расширение. Программы ИРиД должны способствовать развитию инноваций, подготавливая и ускоряя развёртывание инновационных технологий на рынке, и служить стимулом для привлечения более широких инвестиций частного сектора на благо глобальной экономики.

Выходя за рамки государственного финансирования на ранних этапах инноваций и учитывая возрастающее значение электроэнергии для своевременного достижения цели глубокой декарбонизации, необходимо дальнейшее развитие моделирования недвусмысленного увеличения доли низкоуглеродных технологий. Декарбонизация энергетического сектора требует крупномасштабных капиталовложений. Например, согласно оценке исследования МЭА «Перспективы энергетических технологий (ETP)» в 2DS, глобальная мощность атомных электростанций должна увеличиться вдвое до 2050 года.

Несмотря на то, что требуемые суммы исчисляются триллионами долларов, они остаются ниже объёма прогнозируемых инвестиций в мощности, использующие возобновляемые источники энергии, за аналогичный период. Однако экономические модели энергетических инноваций должны учитывать макроэкономические воздействия, вытекающие из перенаправления инвестиций не только от сектора ископаемого топлива, но и других секторов экономики.

Риски, связанные с масштабными капиталовложениями в проекты по производству электроэнергии с использованием низкоуглеродных технологий, требующими большого объёма первоначальных капиталовложений, отличаются от рисков, связанных с традиционными электростанциями, работающими на ископаемом топливе. Это подтверждает вывод о том, что положительные побочные эффекты поддержки НИОКР в области низкоуглеродных технологий имеют сравнительно высокий уровень значимости по той простой причине, что частный сектор менее склонен к принятию связанных с ними финансовых рисков. Таким образом, замещение частных инвестиций государственными расходами происходит на значимо низком уровне.

Необходимы инвестиции для поддержки широкого распространения эффективных технологий конечного использования, в частности, на этапе освоения рынка, так как спрос, как правило, вносит большой вклад с точки зрения более широких глобальных экономических воздействий и занятости. Инициативы в области ИРиД, которые не стимулируют потребителей использовать результаты инновационной деятельности, не являются экономически выгодными.

В заключение, широкий спектр низкоуглеродных технологий требует политической поддержки. Какими бы соблазнительными они ни казались, идеальных решений не существует. Инновационная политика должна быть последовательной во времени и учитывающей неизбежный риск неудач. Количество последних логически превосходит количество успехов. Проведение экспериментов, часто в течение длительных периодов (исчисляемых не годами, а десятилетиями), является критически важным для производства прикладных знаний, необходимых для поддержки широкомасштабного внедрения инноваций на массовых потребительских рынках, обеспечивающего полную экономическую отдачу. Таким образом, в инновационных политиках должен использоваться структурно-комплексный подход в рамках принятия решений с учётом возможностей ограничения инвестиционных рисков и страхования рисков в долгосрочной перспективе.

Список литературы

- Cambridge Econometrics (2014), "E3ME: An economy-energy-environment model of Europe (Technical manual, version 6.0)", <http://ndcpartnership.org/content/energy-environment-economy-global-macro-economic-e3me>.
- Cambridge Econometrics and ECN contribution to European Commission (2011), "Directive of the European Parliament and of the Council on energy efficiency and amending and subsequently repealing directives 2004/8/EC and 2006/32/EC", Brussels, EC.
- Cambridge Econometrics, E3M-Lab NTUA, E&Y, Exergia and IER (2014), "Employment Effects of Selected Scenarios from the Energy Roadmap 2050 (Final Report)", Brussels, EC, DG Energy.
- Cambridge Econometrics, GHK, IER (2011), Studies on Sustainability Issues - Green Jobs; Trade and Labour (Final Report), Brussels, EC, DG Employment, <http://ec.europa.eu/>

social/BlobServlet?docId=7436&langId=en.

- CEP (2014), *Knowledge Spillovers from Clean and Dirty Technologies*, by Dechezlepretre, A., R. Martin and M. Mohnen, Discussion Paper 1300, September, Centre for Economic Performance, LSE Research Laboratory, London, Figure 2, p. 22, <http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp1300.pdf>.
- EC (2016a), "EU Energy Trends and Macroeconomic Performance", Deliverable 1, ARES(2016)3737343, Ongoing Study on Macroeconomics of Energy and Climate Policies, 20 July 2016, Cambridge Econometrics (UK) and NTUA for the EC, Brussels, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ener%20macro-energy_trends- macroeconomic-performance_d1%20final%20%28ares%20registered%29.pdf.
- EC (2016b), "Policy-induced Energy Technological Innovation and Finance for Low Carbon Economic Growth", Deliverable 2, ARES (2016)3442362, Ongoing Study on Macroeconomics of Energy and Climate Policies, 14 July 2016, Radboud University (NL), Cambridge Econometrics (UK), Trinomics (NL), and NTUA for the EC, Brussels.
- Elsevier (2004), *Encyclopedia of Energy*, Vol. 2, Elsevier Academic Press, Boston.
- ENEF (2013), *Socio-Economic benefits of the nuclear industry in the EU to 2050*, Paper by Working Group Opportunities, ENEF, Luxembourg-Brussels.
- Greenpeace (2011), *EU 2050 Energy Roadmap - Greenpeace Analysis*, Greenpeace Europe Unit, 15 December, Brussels.
- Gritsevsky A. and N. Nakicenovic (2002), "Modelling uncertainty of induced technological change", in Grubler, A., N. Nakicenovic and W. D. Nordhaus (eds.), *Technological Change and the Environment*, Resources for the Future, Washington DC.
- Grubb, M. (2005), "Technology Innovation and Climate Change Policy: an overview of issues and options", Imperial College London, Cambridge University, submitted in review, *Keio Journal of Economics*, Keio University, Tokyo.
- Grubler, Arnulf (2016), *Global Energy Assessment*, Chapter 24: Policies for the Energy Technology Innovation System (ETIS), last revision 20 May 2016, study ended 2014, Collective Work, IIASA, Austria and Yale University, New Haven, Connecticut.
- IEA (2015a), *Energy Technology RD&D*, OECD, Paris.
- IEA (2015b), *Energy Balances*, OECD, Paris.
- IRENA (2017), *Perspectives for the Energy Transition, Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*, IRENA, Abu Dhabi.
- Masseti, E. (2015), *The Macroeconomics of Climate Policy: Investments and Financial Flows*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.
- Mission Innovation (n.d.), Mission Innovation (web page), <http://mission-innovation.net/>.
- Pollitt, H., E. Alexandri, U. Chewpreecha and G. Klaassen (2015), "Macroeconomic Analysis of the Employment Impacts of Future EU Climate Policies", *Climate Policy*, Vol. 15(5), pp. 604-625.
- Rosen, R.A. and E. Guenther (2015), *The Economics of Mitigating Climate Change: What Can We Know?*, Tellus Institute Boston, Technical University Dresden, Elsevier Technological Forecasting and Social Change, Boston.
- Stern, D.I. (2004), *Economic Growth and Energy*, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, NY.
- Stone, C. (2015), *Climate Policies Lead to Higher GDP and Employment Rates*, 24 November, Yale University, New Haven, Connecticut, <https://environment-review.yale.edu/climate-policies-lead-higher-gdp-and-employment-rates-0>.

Глава 11. Политические выводы

Политические последствия полного учёта затрат в электроэнергетике

Производство и потребление электроэнергии не только являются одной из основных экономических проблем, но и существенно способствуют неблагоприятному воздействию на здоровье человека, продолжительность жизни и окружающую среду. Основываясь на этом понимании, прикладные экономические исследования внешних эффектов, экстерналий или социальных издержек часто используют электроэнергетический сектор в качестве отправной точки. В 1990-х и начале 2000-х годов в рамках серии обширных, хорошо финансируемых исследований десятки экспертов высокого уровня из разных областей начали более обширное изучение полных затрат на производство электроэнергии. Многие из полученных результатов не потеряли свою актуальность и по сей день. Несмотря на то, что оценка социальных издержек неизбежно сопряжена с большим уровнем неопределённости, исследования сходятся в определении ключевых проблемных областей и порядка величин в различных областях воздействия. Несмотря на присущий им высокий уровень качества и сравнимые результаты, эти исследования не привлекли достаточно внимания со стороны политиков или широкой общественности.

В частности, лица, определяющие политику, никогда должным образом не выполняли рекомендации экспертов по полной интернализации социальных издержек в частных решениях. Возможно, было бы оптимистично предполагать, что непосредственное введение финансовых мер, основанных на точном денежном выражении социальных издержек и соответствующих налоговых корректировках, которые привели бы социальные и частные рыночные издержки в соответствие, могло бы осуществляться на регулярной основе при любых обстоятельствах. Тем не менее, сходящиеся результаты ряда широкомасштабных и беспристрастных исследований подразумевают, что для того, чтобы обеспечить экономическую оптимальность, требуются гораздо более решительные действия, чем те, которые страны готовы были предпринять, по крайней мере, в области загрязнения воздуха и уменьшения рисков, связанных с изменением климата. Отсутствие значимого налога на выбросы углерода во многих странах является тому примером. В то же время более строгие технические нормы, создание рынка, субсидии, улучшенная прозрачность и снижение юридических и институциональных транзакционных издержек – всё это доступно как часть арсенала мер, которые могут быть использованы в тех случаях, когда прямое взимание налогов Пигу остаётся труднодостижимым из-за политических препятствий, возникающих в результате проблем распределения.

Цель настоящего отчёта заключается в том, чтобы напомнить основные результаты исследований внешних эффектов за последние двадцать лет, дополнить их результатами недавних исследований и ещё раз заострить внимание лиц, принимающих решения, на их обязательствах учитывать эти совместно выработанные идеи при разработке и реализации энергетических политик. От этого зависит благополучие граждан и экономики.

«Полные затраты на производство электроэнергии» – это часть растущей серии исследований Агентства по ядерной энергии (АЯЭ) по стоимости атомной генерации и других технологий производства электроэнергии. Результаты некоторых работ, в том числе исследований издержек на уровне электростанции, системных издержек и надёжности энергоснабжения, были кратко изложены в предыдущих главах. Они отражают стремление к получению надёжных и понятных результатов определения затрат на производство электроэнергии, которые выходят за рамки расчёта традиционного показателя LCOE для издержек на обеспечение базовой нагрузки на уровне электростанции в энергосистемах, предусматривающих возможность диспетчерского управления. Учитывая его простоту, прозрачность и удобство сравнения, показатель LCOE будет и далее частью набора информации, запрашиваемой экспертами, исследователями и политиками. Однако даже для будущих изданий важнейшей публикации АЯЭ/МЭА «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии», следующий выпуск которой предусматривается в 2020 году, теперь требуются более широкие, дополнительные показатели, поскольку издержки на МВт·ч для технологии генерации электроэнергии больше не могут оцениваться независимо от окружения электроэнергетической системы. Роль

диспетчерского управления «на сутки вперед», которая была преобладающей парадигмой как для регулируемых, так и для первоначально либерализованных рынков, снижается, а роль платы за мощность, манёвренность, стабильность и системные услуги возрастает. Даже на уровне системы, подключённой к сети, один МВт·ч электроэнергии больше не является однородным товаром.

В ещё меньшей степени он является однородным товаром на уровне окружающей среды, граждан, которые в ней живут, надёжности электроснабжения, которой они ожидают, или касающейся их социальной и технологической динамики. Вот почему понятие полных затрат является таким важным. Обеспечение улучшения благосостояния требует дифференциации технологий в соответствии с рядом определённых показателей, которые отражают их полное влияние на общество и экономику.

Вытекающие из этого проблемы очевидны как на уровне оценки полных затрат, так и при определении широко приемлемых диапазонов оценки, а также на уровне преодоления укоренившихся интересов и связанного с ними сопротивления. Полные затраты складываются из издержек на уровне электростанции и системных издержек, а также не подвергшихся интернализации внешних эффектов. Если последние являются отрицательными, они должны быть добавлены к сумме полных затрат как дополнительные издержки; если они положительные, в принципе, их нужно вычесть. Выражение «в принципе» используется здесь потому, что положительные внешние эффекты, такие как побочные эффекты, касающиеся занятости в определённых технологиях, или влияние инноваций на экономические показатели и рост, как правило, имеют ещё более неопределённый характер, по сравнению с негативным воздействием на здоровье, продолжительность жизни и окружающую среду. Таким образом, интернализация положительных внешних эффектов, как правило, лучше поддаётся косвенному регулированию с помощью общей политики, чем путём введения мер денежного стимулирования, которые привели бы к корректировке рыночных издержек.

Загрязнение воздуха, риски, связанные с изменением климата, и системные издержки составляют большую часть издержек, не подвергшихся интернализации

Если десять предыдущих глав, посвящённых различным аспектам полных затрат, приводят к одному единственному выводу, это означает, что не подвергшиеся интернализации внешние издержки, касающиеся нормальной эксплуатационной деятельности по производству электроэнергии, по крайней мере на порядок превышают издержки, связанные с другими этапами жизненного цикла (как на предшествующих, так и на последующих производственных этапах), а также издержки, связанные с крупными авариями. Добыча и транспортировка первичного топлива, из которого вырабатывается электроэнергия, такого как уголь, нефть, газ или уран, действительно влекут за собой социальные издержки, но они в достаточной мере ограничены локально и имеют более низкий уровень в сравнении, например, с затратами, связанными с загрязнением воздуха. В контексте завершающей стадии жизненного цикла вывод из эксплуатации, обработка и захоронение отходов представляют собой значительные издержки для атомной энергетики. В то же время интернализация этих экономических затрат происходит посредством отчислений в резервные фонды, совершаемых производителями электроэнергии, и учитываемых в потребительских ценах и тарифах. Можно с полным основанием вести дискуссию о том, является ли уровень таких отчислений адекватным. Тем не менее, как указано в главе 2, как минимум на уровне расчёта показателя LCOE регулярно происходит интернализация экономических затрат на вывод из эксплуатации, обработку и захоронение отходов в случае атомной энергетики, как и в случае других технологий. В странах-членах АЯЭ такая интернализация соответствует обстоятельным требованиям об отчислениях в резервные фонды, соответствующие выводу из эксплуатации, обработке и захоронению отходов, за каждый МВт·ч электроэнергии, произведённой атомными электростанциями.

То же самое относится и к истощению природных ресурсов (см. главу 7). Что касается коммерчески ценных первичных энергоносителей, таких как уголь, нефть, газ или уран, конкурентные рынки будут обеспечивать использование этих ресурсов путём, который является оптимальным как для нынешнего, так и для будущих поколений. При анализе товаров, обладающих ценными качествами, которые не оцениваются рынком, это наблюдение, разумеется, больше не может применяться. Одним из очевидных примеров является вырубка тропических дождевых лесов, где эксплуатация природных ресурсов частными компаниями идёт чрезмерными темпами, без какого-либо внимания ко всеобщему благополучию нынешнего или будущих поколений. Однако первичные энергоносители, такие как уголь, нефть, газ или уран, имеют малую ценность помимо ценности коммерческой эксплуатации и существует очень мало внешних эффектов, связанных с их использованием, не подвергающихся интернализации.

Наконец, крупные аварии в энергетических структурах, будь то разливы нефти, взрывы на газопроводах, прорывы плотин, несчастные случаи на шахтах или аварии на атомных электростанциях, к счастью, происходят довольно редко в течение жизненного цикла в отношении всех технологий выработки электроэнергии и не играют значительной роли в учёте полных издержек. Это утверждение с точки зрения учёта экономических затрат, которое является важным для принятия решений, скорее дополняет, чем противоречит тому факту, что подобные аварии, концентрирующие трудности разного рода, привлекают к себе огромное внимание со стороны средств массовой информации и населения в целом. Маловероятно, что события, происходящие в течение более длительного промежутка времени в сравнении с частотой выпусков отдельных СМИ, будут соответствовать критериям, необходимым для того, чтобы считаться «новостью», если они не достигнут «... определённого уровня драматического напряжения» (Галтунг и Руг (*Galtung & Ruge*), 1965: 66).

В других случаях смещение внимания, которое в значительной степени влияет на формирование политики, не связано с концентрированным характером воздействий, а зависит от рассматриваемой технологии. Как указано в главе 6, наибольшее число смертельных случаев в результате крупных аварий зафиксировано при добыче угля и на гидроэлектростанциях, т. е. в двух областях, которые не вызывают широкой озабоченности со стороны общественности. Разливы нефти и, особенно, ядерные аварии, наоборот, привлекают особое внимание со стороны средств массовой информации и политиков, уровень которого является чрезвычайным в сравнении с тем, к какому вреду и количеству человеческих жертв приводят подобные случаи. В случае ядерных электростанций, даже незначительные производственные аварии привлекают к себе огромное внимание.

Даже наблюдатели, считающие себя хорошо осведомлёнными, с удивлением узнают, что на АЭС Фукусима-1 никто не пострадал от облучения. Совершенно очевидно, что авария на АЭС Фукусима-1 была крупной аварией, которая выявила недостаточный уровень готовности к редкому, но прогнозируемому стихийному бедствию. В то же время разумно отметить, что стратегический поворот от использования ядерной энергии к ископаемому топливу, который она породила во всём мире, не был пропорционален ни фактическим трудностям, вызванным аварией, ни совместимым с целью снижения воздействий на здоровье и социальных издержек, связанных с загрязнением воздуха.

Некоторые факторы, безусловно, могут объяснить отсутствие симметрии между вниманием общественности и политиков с одной стороны и масштабом серьёзности воздействий с другой стороны. Разливы нефти и ядерные аварии характеризуются двумя аспектами, которые доставляют особое неудобство общественности. Во-первых, их воздействие может продолжаться в течение длительного срока, в то время как подавляющее большинство разрушений, вызываемых авариями на шахте или взрывом на газопроводе, являются кратковременными. Во-вторых, многие из воздействий невозможно обнаружить визуально. Ущерб, вызываемый радиацией или воздействием углеводородного загрязнения через пищевую цепь, требует тщательной оценки показателей, замер которых представляет сложности технического характера. Интуитивная реакция общественности, жаждущей понять все аспекты травмирующего несчастного случая, часто заключается в осознании того, что «истинный размер ущерба скрыт».

Целью данной публикации не является изучение причин отсутствия симметрии между масштабом ущерба от несчастных случаев и степенью реакции общественности. Прозрачность в отношении объёма полных затрат на все энергетические цепочки должна быть основной стратегией для устранения данной асимметрии. Такая прозрачность требует целенаправленных усилий со стороны всех заинтересованных сторон в энергетическом секторе и цель настоящей публикации – содействовать решению этой задачи.

Однако страдания отдельных людей, вызванные любым видом аварии или внешнего воздействия, независимо от того, привлекают ли они внимание общественности или нет, невозможно свести к статистическим данным. Лица, определяющие политику, сталкиваются со сложной задачей – уравновесить оба аспекта – законную озабоченность общественности сразу же после аварии и потребность в долгосрочном развитии энергосистемы, которая, при всестороннем изучении вопроса, является лучшим из имеющихся вариантов по минимизации риска аварий и трудностей. Беспристрастное размышление с целью улучшения общего благосостояния предполагает, что большое количество жертв, вызванных загрязнением воздуха, требует, как минимум, сколько же внимания, сколько и редкие аварии. В настоящее время внимание общественности, социальные силы и политическое давление приводят к тому, что политическое внимание и ресурсы будут непропорционально сдвигаться в сторону последних. Внешние эффекты в этом случае будут подвергнуты интернализации или даже чрезмерной интернализации, в то время как загрязнение будет продолжаться с неизменной интенсивностью, как это происходит в настоящее время в сфере производства электроэнергии. Таким образом, возникает законный вопрос: почему очень серьёзные и гораздо более существенные последствия загрязнения воздуха, потенциальные риски изменения климата или даже многомиллиардные системные издержки, связанные с некоторыми технологиями, использующими возобновляемые источники энергии, не смогли

в достаточной мере повлиять на общественное восприятие, которое должно приводить к реализации эффективных мер экономической политики? Как отмечалось в главе 5, наибольший объём не подвергшихся интернализации издержек в сфере производства электроэнергии связан с загрязнением воздуха. Загрязнение воздуха также является областью активного изучения, при котором используются чётко определённые протоколы исследований и согласованные методологические принципы, приводящие к получению сходных результатов. По данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха представляет собой главнейшую опасность для окружающей среды на глобальном уровне: ежегодно в мире умирает 3 миллиона человек в результате загрязнения окружающего воздуха, основным источником которого является производство электроэнергии. Бытовое загрязнение воздуха, причиной которого является недостаток электроэнергии, приводит к увеличению количества смертей ещё на 4,3 миллиона. В то время как большинство смертельных случаев касается стран с низким и средним уровнем дохода, предполагаемые потери в области благосостояния, вызванные загрязнением воздуха, только в странах ОЭСР значительно превышают один триллион долларов США, что приблизительно составляет 3% соответствующего валового внутреннего продукта (ОЭСР, 2014).

Трудно точно оценить полные затраты, связанные с изменением климата, представленные в главе 4, но климатологи обычно называют суммы, исчисляемые триллионами долларов США или евро. Одним из наиболее сложных вопросов при их оценке является очень высокая степень неопределённости, которая делает невозможным включение возможных результатов в устойчивое распределение вероятностей. Однако можно определить порядок величины, 100 долларов США за тонну CO₂, которые включены в диапазон возможных значений, представленных подавляющим большинством исследований о вероятных затратах, связанных с изменением климата. Даже если каждое отдельное исследование можно подвергнуть критике в отношении методологии или отобранных данных, такие недостатки присущи любому многоаспектному предмету изучения, затрагивающему почти все сферы человеческой жизни. Кроме того, допущения в отношении ставок дисконтирования, которые отражают косвенное распределение затрат между нынешним и будущими поколениями, ещё больше искажают результаты любого отдельного исследования.

Сокращение выбросов парниковых газов для снижения риска изменения климата играет особую роль в данном контексте. Широкая общественная осведомлённость и активное внимание средств массовой информации и политиков на практике до сих пор не привели к реализации эффективных политических мер. На международных конференциях стало догмой говорить о необходимости борьбы с изменением климата в самых жёстких из возможных терминов, не допуская при этом принятия никаких политических мер, кроме самых бесспорных.

Системные издержки (глава 3) – это ещё одно не получившее достаточного освещения подмножество полных затрат, тема, которая возникла в последние несколько лет после развёртывания крупных мощностей переменчивых возобновляемых источников энергии, прежде всего ветряных и фотоэлектрических солнечных электростанций, во многих странах. Результаты, включающие сетевые издержки, издержки на выравнивание нагрузок и издержки на резервирование или издержки на манёвренность, зависят от страны и технологии и увеличиваются непропорционально уровню внедрения ПВИЭ. Оценки общих системных издержек дают следующие усреднённые результаты: 15 долларов США за МВт для наземной ветроэнергетики, 20 долларов США за МВт – для фотоэлектрической солнечной энергетики и 25 долларов США за МВт – для морской ветроэнергетики при 10-процентном уровне замещения. При 30-процентном уровне замещения системные затраты значительно возрастают, достигая около 25 долларов США за МВт для наземной ветроэнергетики и около 40 долларов США за МВт – для фотоэлектрической солнечной энергетики и морской ветроэнергетики. При сравнении системные издержки на такие управляемые технологии, как атомная, угольная и газовая, как минимум на один порядок ниже, т. е. составляют менее 2 долларов США за МВт·ч.

Эти результаты значительно различаются в зависимости от характеристик окружения систем электроснабжения. Например, значительная доля гидроэлектрических ресурсов обеспечит некоторый или полный уровень управляемости, необходимой для интеграции переменчивых возобновляемых источников энергии, и, таким образом, ограничит увеличение системных издержек. В зависимости от технических характеристик, соответствующих типу реактора, атомная энергия дополнительным образом способствует обеспечению управляемости в низкоуглеродных энергосистемах. Тем не менее, учитывая, что производство электроэнергии на ветряных и фотоэлектрических солнечных электростанциях в странах ОЭСР в 2014 году уже превысило 600 ТВт·ч (один миллион МВт·ч) и продолжает быстро расти, можно легко заметить, что системные издержки измеряются миллиардами долларов США и будут расти и в дальнейшем. Однако за пределами круга экспертов рынка электроэнергии о существовании данного вопроса практически не известно.

Необходимо напомнить, что невозможно назвать факторы, объясняющие, почему внимание, которое уделяется загрязнению воздуха и системным издержкам, ограничено. В случае системных издержек действительность такова, что предмет изучения носит технический характер и противоречит глубоко укоренившимся предрассудкам об экономической и социальной желательности возобновляемых источников энергии в целом, и ветряных и фотоэлектрических солнечных технологий, в частности. Аналогичный довод справедлив и для надёжности энергоснабжения (глава 8), влияния на занятость

(глава 9) и воздействия технологических инноваций (глава 10). Это конкретные, скорее технические вопросы. Однако, в отличие от системных издержек, они получают поддержку, хотя довольно ограниченную, со стороны круга заинтересованных лиц, благодаря которым они приняты во внимание и учитываются в процессе пусть и частичной, несовершенной интернализации. Эти заинтересованные группы с течением времени изменяются. С точки зрения надёжности снабжения доля угля, добываемого внутри страны, снижалась по мере того, как росла вера в надёжность системы открытого рынка. Что касается влияния на занятость, необходимо учитывать компромисс между рассеянным влиянием на национальном уровне и концентрированным влиянием на местном уровне. В странах ОЭСР, вопреки распространённому мнению, исследования в области управляемого деления (физического процесса, лежащего в основе современной атомной энергетики) столкнулись со значительным сокращением финансирования. Например, в Европейском союзе ежегодная поддержка исследований в атомной энергетике сократилась с 8 миллиардов евро до 3 миллиардов евро, при этом большая часть этой поддержки выделяется на долгосрочные исследования в области термоядерного синтеза.

В случае загрязнения воздуха общественности трудно отождествить себя с проблемой, которая предусматривает сочетание накопленного на протяжении многих лет постоянного стресса с наследственными и прочими факторами, которые приводят к заболеваниям дыхательных путей и сердечной недостаточности. Принимая во внимание то, что нести бремя человеческой трагедии на индивидуальном уровне ненамного легче, сложность и длительность этого процесса значительно усложняют охват, передачу, распространение и усвоение соответствующей информации.

Задача публикаций, таких как настоящая, состоит в том, чтобы сделать акцент на систематических ошибках смещения внимания, не с целью преуменьшения значимости крупных аварий, которые по-прежнему требуют тщательного изучения и надлежащего регулирования, а для привлечения внимания политиков ко всем областям с большим и проверяемым уровнем издержек, как с точки зрения смертности и заболеваемости, так и с точки зрения экономических затрат.

Порядок интернализации

Как только подгруппам полных издержек будет уделено то внимание, которого они заслуживают, хорошо понятные инструменты могут быть применены для их интернализации. В главе 1 рассматриваются прикладные экономические инструменты, используемые в рамках практических политических решений, которые разбиты на три широкие категории:

1. *Ценовые и рыночные меры.* В большинстве случаев простое применение налога Пигу для любых внешних эффектов, которые могут быть определены, не является возможным или желаемым. В то же время налоги, цены, субсидии, распределение имущественных прав и сокращение транзакционных издержек – это те самые ключевые инструменты в арсенале политиков, которые позволяют определить полные затраты на производство электроэнергии. Эти инструменты должны использоваться на качественной и предсказуемой основе с тем, чтобы в долгосрочной перспективе направить процесс производства энергии в нужное русло.
2. *Нормы, стандарты и регламенты:* являются уже широко применяемыми инструментами, используемыми за неимением лучшего в рамках формирования политики. Дополнительное преимущество от их использования заключается в том, что, благодаря их существованию, плата за право загрязнения осуществляется самим загрязнителем. Однако в области загрязнения воздуха и выбросов парниковых газов, в частности, пересмотр и возможное ужесточение существующих стандартов представляется оправданным.
3. *Информационно-ориентированные меры.* Вопреки частому заблуждению, эти меры не считаются второстепенными или дополнительными, а являются ключевым элементом современного процесса интернализации. К ним относятся поддержка исследований и инноваций, а также участие в процессах формирования политик и установления правил. Данная публикация является слабой, но целенаправленной попыткой исключить определённые информационные транзакционные издержки, которые препятствуют эффективной разработке политики в секторе производства электроэнергии.

В этом контексте можно выделить четыре основных момента. Во-первых, успешные меры, как правило, включают в себя аспекты из разных категорий. Наглядным примером является система торговли квотами на выбросы, которая подразумевает установление количественной нормы и создание рынка, что способствует начальному определению цены экстерналии. В дальнейшем распространение информации

и воспитательно-образовательные действия позволят повысить эффективность таких мер экономического стимулирования.

Во-вторых, любые меры могут разрабатываться с учётом различных нормативных рамок, касающихся распределения. С точки зрения оптимизации благосостояния вопрос о том, в какой форме устанавливается цена на единицу сокращения выбросов – в форме налога, в форме квот, распределяемых посредством аукционных торгов, в форме бесплатно выделяемых квот или в форме льгот за производство с нулевым уровнем выбросов (т. е. субсидий для низкоуглеродного производства) – является второстепенным. Решающее значение имеет выставление такой цены, которая оказывала бы разную степень стимулирования энергосистем, использующих низкоуглеродные энергоресурсы, и систем производства электроэнергии с большим объёмом выбросов.

В-третьих, существует взаимосвязь между мерами, направленными на разные социальные издержки, связанные с производством электроэнергии. Одним из очевидных примеров является тот факт, что применение любой меры, направленной на сокращение загрязнения воздуха при использовании технологий на ископаемом топливе, также будет обеспечивать снижение углеродосодержащих выбросов, и наоборот. Кроме того, такие действия также приведут к благоприятным побочным эффектам с точки зрения истощения ресурсов и надёжности энергоснабжения.

В-четвёртых, распределительные последствия различных мер интернализации часто являются самым большим препятствием для интернализации внешних издержек. Такие последствия вполне реальны и должны учитываться. Внедрение адекватных компенсирующих мер не является сложным процессом и в случае успеха практически соответствует эффективной интернализации. Эти меры могут быть постоянными или временными и обеспечивать как полную, так и частичную компенсацию. Однако такие меры требуют от всех заинтересованных сторон отказа от логики конфронтации и перехода к сотрудничеству в целях достижения максимального уровня всеобщего благосостояния.

Наконец, когда речь идёт об общих издержках, необходимо особо подчеркнуть роль, важность и ответственность государства в этой области. Разрыв между полными издержками и частными рыночными затратами объясняется неспособностью частных субъектов экономической деятельности учитывать всю информацию, имеющую отношение к воздействиям на благосостояние, что объясняется недостатком механизмов обратной связи между частными субъектами экономической деятельности и соответствующими структурами стимулирования. «Транзакционные издержки» – универсальный термин, который был создан в экономике для обозначения препятствий в достижении соглашений, которые, в принципе, были бы взаимовыгодными, так как выгода победителя будет превышать потери проигравшего. Такие транзакционные издержки не являются неизбежным фактором экономической жизни и могут быть со временем значительно сокращены путём дальнейшего распространения информации и принятия мер стимулирования.

Когда на карту поставлены миллионы человеческих жизней, власти обязаны внедрить механизмы стимулирования, функция которых заключается в снижении транзакционных издержек и обеспечении новых ассигнований с целью значительного улучшения благосостояния. В очередной раз ключевыми стратегическими областями в данном случае являются предотвращение загрязнения воздуха и снижение рисков изменения климата.

В то же время необходимо получение дополнительной информации в отношении полных затрат, связанных с производством электроэнергии. Важнейшее значение имеет возрождение властями широких дебатов и масштабных работ по внешним эффектам в энергетическом секторе, которые имели место в 1980-х и 1990-х годах. В сравнении с масштабом внешних эффектов, о которых идёт речь, размер необходимых для исследований средств является ничтожными. Однако такая работа должна проходить под строгим контролем с целью содействия улучшению политики в контексте происходящего перехода на нетрадиционные источники энергии. Европейский проект исследований внешних эффектов новых видов энергетики в рамках устойчивого развития (NEEDS), который был завершён в 2008 году, является основополагающим элементом в этой работе, но в то же время, к сожалению, и наглядным примером того, как нерационально могут использоваться результаты прекрасно проделанной работы, когда руководители неспособны ограничить рамки и объём учёта внешних эффектов. Дальнейшие исследования должны быть приоритетно направлены на ключевые области изучения и сосредоточены на получении показателей, имеющих смысл и значимость для разработки политики. Также следует открыто признать, что некоторые области могут быть ещё недостаточно изучены для осуществления какой-либо количественной или финансовой оценки, и, соответственно, должны рассматриваться с применением качественного подхода. Старая поговорка о том, что наличие хоть каких-то цифр лучше их полного отсутствия, в данном случае совершенно неприменима и уменьшает роль учёта полных затрат для разработки политики.

Данная публикация является лишь маленьким фрагментом большой выразительной мозаики, которая, как можно надеяться, будет собрана в будущем. Распространение и обобщение знаний о некоторых из наиболее существенных характеристик полных затрат на производство электроэнергии

является ключом к достижению лучшей политики и построению более устойчивых систем производства электроэнергии путём прогрессивной интернализации социальных издержек.

Список литературы

OECD (2014), *The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport*, OECD, Paris.

Galtung, J. and M. Ruge (1965). "The Structure of Foreign News: The Presentation of the Congo, Cuba and Cyprus Crises in Four Norwegian Newspapers." *Journal of International Peace Research* 2: 64-90.



Приложение А. Список участников «Международного семинара по полным затратам на производство электроэнергии»

Рабочая группа по экономике атомной энергетики (WPNE) АЯЭ
Штаб-квартира ОЭСР, СС20, Париж

Среда, 20 января 2016 г.

Измаил Айдил	Постоянное представительство Турции в странах ОЭСР
Мишель Бертелеми	Комиссариат по атомной и альтернативным видам энергии, Франция
Ален Буртен	Électricité de France (EDF), Франция
Мэтью Крозат (сопредседатель)	Институт ядерной энергетики, США
Вильям Д'Эселер	Лёвенский католический университет, Институт энергетики, Бельгия
Жан-Ги Девезо де Лавернь	Комиссариат по атомной и альтернативным видам энергии, Франция
Райнер Фридрих	Институт экономики энергетики и рационального использования энергии (IER), Факультет технологической оценки и экологии, Штутгартский университет, Германия
Антонио Гонсалес Хименес	FORONUCLEAR, Испанский атомно-промышленный форум, Испания
Стефан Хиршберг	Институт Пауля Шеррера, Швейцария
Ян-Оле Кисо	Директорат А – Энергетика, Европейская комиссия
Манки Ли	Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии (KAERI), Корея
Доминик Ле Мань	Делегация Франции в странах ОЭСР
Роже Лундмарк	Swissnuclear, Швейцария
Дорис Нейман	Директорат G – Исследования, Европейская комиссия
Саввас Политис	Объединенный исследовательский центр Института перспективных технологических исследований, Европейская комиссия
Корали Прен	Areva, Франция
Ольгерд Сконечны	PGE Polska Grupa Energetyczna SA, Польша
Альфред Фосс (сопредседатель)	Институт экономики энергетики и рационального использования энергии (IER), Факультет технологической оценки и экологии, Штутгартский университет, Германия

ОЭСР

Жеральдин Анг	Департамент по вопросам климата, биоразнообразия и водных ресурсов, Центр финансирования экологических проектов, Директорат по охране окружающей среды
Марко Барони	МЭА
Нильс Аксель Браатен	Отдел контроля и анализа экологической деятельности, Центр экологической политики, Директорат по охране окружающей среды
Марко Кометто	Департамент развития и экономики атомной энергетики, АЯЭ
Марк Дефрен	Департамент развития и экономики атомной энергетики, АЯЭ
Оливье Дюран-Лассерв	Отдел экологической и экономической интеграции, Центр моделирования и прогнозирования, Директорат по охране окружающей среды
Чжэ Чжу Ха	Департамент развития и экономики атомной энергетики, АЯЭ
Джессика Айзекс	Управление по энергетическим рынкам и безопасности, Отдел по газовым, угольным и энергетическим рынкам, МЭА
Ян Хорст Кепплер	Департамент развития и экономики атомной энергетики, АЯЭ
Уильям Мэгвуд	Генеральный директор Агентства по ядерной энергии
Саймон Мюллер	Управление по энергетическим рынкам и безопасности, Отдел по возобновляемым источникам энергии, МЭА
Эндрю Прэг	Отдел инвестиций, Управление по финансовым вопросам и делам предприятий
Джеффри Ротуэлл	Департамент развития и экономики атомной энергетики, АЯЭ
Даниэль Синополи	МЭА

ИНФОРМАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИИ АЯЭ

Полный [каталог публикаций](http://www.oecd-nea.org/pub) в электронном виде: www.oecd-nea.org/pub.

Помимо общей информации об Агентстве и программы его деятельности на [официальном сайте АЯЭ](http://www.oecd-nea.org) доступны для бесплатной загрузки сотни технических и политико-ориентированных отчетов.

Подписчикам также бесплатно рассылается [ежемесячный электронный бюллетень АЯЭ](http://www.oecd-nea.org/bulletin), предоставляющий актуальную информацию об основных результатах работы Агентства, проводимых мероприятиях и публикациях. Оформить подписку можно на сайте www.oecd-nea.org/bulletin.

Приглашаем посетить нашу страницу в [Facebook](https://www.facebook.com/OECDNuclearEnergyAgency) по адресу www.facebook.com/OECDNuclearEnergyAgency или следить за обновлениями в [Twitter @OECD_NEA](https://twitter.com/OECD_NEA).



Полные затраты на производство электроэнергии

Производство электроэнергии в равной степени затрагивает все аспекты жизни как в странах-участницах ОЭСР, так и в странах, не входящих в эту организацию, при этом выбор технологии выработки электроэнергии (с использованием ископаемого топлива, атомной энергии или возобновляемых источников энергии) влияет не только на экономические показатели, но и на благополучие отдельно взятых людей и общества в целом. Изучение и оценку полных издержек в электроэнергетике необходимо вести на постоянной основе, поскольку лишь некоторые виды затрат на производство электроэнергии непосредственно ощущаются производителями и потребителями. Другие виды издержек, такие как воздействие на здоровье, связанное с загрязнением воздуха, ущерб от изменения климата или влияние на энергосистему генерации малой мощности с применением источников энергии, работающих в переменном режиме, не отражаются в рыночных ценах и, соответственно, оказывают влияние на уровень жизни, оставаясь неучтенными.

Учёт этих социальных издержек для определения полных затрат на производство электроэнергии является весьма сложным, и в то же время такие затраты слишком важны и их невозможно игнорировать в контексте перехода на нетрадиционные источники энергии, происходящего в настоящее время в странах, входящих в ОЭСР и АЯЭ. Настоящий отчёт опирается на данные большого количества исследований, касающихся социальных издержек, связанных с производством электроэнергии, и определяет уже проверенные инструменты, применение которых необходимо для интернализации указанных издержек с целью улучшения всеобщего благосостояния.

Результаты, изложенные в отчёте, должны стимулировать проведение всесторонних исследований полных затрат на производство электроэнергии, которые в свою очередь позволят политикам и общественности принимать более взвешенные решения на пути создания новых энергетических систем, полностью отвечающих требованиям устойчивого развития.

Nuclear Energy Agency (NEA)

46, quai Alphonse Le Gallo
92100 Boulogne-Billancourt, France
Tel.: +33 (0)1 45 24 10 15
nea@oecd-nea.org
www.oecd-nea.org