



WWW.WECC.RU



WWW.ENERGYSTRATEGY.RU

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И РОССИЯ

GLOBAL ENERGY AND RUSSIA



ТРЕНДЫ И СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

Глобализация и Устойчивое развитие
ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ
(ЗАО «ГУ ИЭС»)

ТРЕНДЫ И СЦЕНАРИИ
РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

Москва
2011

Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века/А.М. Белогорьев, В.В. Бушуев, А.И. Громов, Н.К. Куричев, А.М. Мастепанов, А.А. Троицкий. Под ред. В.В. Бушуева. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2011. – 68 с.

Настоящая работа содержит основные положения прогноза развития мировой энергетики на период до 2050 года. На основе анализа исторических и современных трендов построены прогноз развития всех ключевых отраслей энергетики и прогноз динамики энергетического сектора в ведущих странах и регионах мира. Применяемый в работе сценарный подход позволяет связать между собой тренды, наблюдаемые в различных регионах мира, в различных отраслях энергетики, а также согласовать технологические, энергетические, экономические, социальные и политические факторы. Анализ количественных тенденций и перспективной структуры топливно-энергетического баланса сочетается с анализом качественных тенденций развития мировой энергетики: перестройки энергетических рынков и корпоративной структуры энергетики, систем регулирования и геополитических приоритетов ведущих государств мира. Предлагаемая вниманию читателей работа является базой для подготовки «Белой книги» – комплексного прогноза и фактического обзора мировой энергетики, на основе которых даются рекомендации по приоритетным направлениям и задачам развития отрасли.

ISBN 978-5-98908-044-1

© А.М. Белогорьев, В.В. Бушуев,
А.И. Громов, Н.К. Куричев,
А.М. Мастепанов, А.А. Троицкий, 2011

© ЗАО «ГУ ИЭС», 2011

Содержание

Введение	5
Раздел 1. Тренды и циклы развития экономики и энергетики	8
1.1. Динамика мирового экономического и энергетического развития	8
1.2. Новая энергетическая цивилизация	12
1.3. Технологическая картина мира	13
1.4. Сценарии развития мировой энергетики	14
Раздел 2. Общие тренды развития энергетики	17
2.1. Динамика экономического роста.....	17
2.2. Динамика и структура потребления первичной энергии	18
2.3. Динамика и структура конечного потребления энергии	22
2.4. Энергетика и процессы глобализации и регионализации ...	26
2.5. Энергетика и изменение климата	27
Раздел 3. Отраслевые тренды	30
3.1. Тренды в нефтяной отрасли	30
3.2. Тренды в газовой отрасли.....	34
3.3. Тренды в угольной отрасли	37
3.4. Тренды в возобновляемой энергетике	39
3.5. Тренды в атомной энергетике	42
3.6. Тренды в электроэнергетике	44
Раздел 4. Сценарии развития мировой энергетики	49
4.1. Инерционный (углеводородный) сценарий	49
4.2. Стагнационный (экологический) сценарий	52
4.3. Инновационный (возобновляемо-атомный) сценарий	54
4.4. Сопоставление с прогнозами других исследовательских организаций	58
Заключение. Риски и возможности для России	64
Литература	66

ВВЕДЕНИЕ

Долгосрочный прогноз развития мировой энергетики – задача, стоящая перед исследователями уже на протяжении многих лет. Но в последнее время обострился ряд долгосрочных проблем и появился ряд новых обстоятельств, которые делают эту задачу особенно актуальной. В начале 2011 г. произошли три важных события, которые обозначили ключевые проблемы мирового энергетического развития (рис. 1). Волнения в арабских странах и война в Ливии обострили проблему баланса между глобализацией и регионализацией мировой энергетики. Ведущие страны мира (США, ЕС и Китай) анонсировали программы по снижению зависимости от импорта энергоносителей. Резкий рост цен на нефть стал угрожать новым шоком для мировой экономики, которая еще не преодолела последствия кризиса. Этот ценовой шок ускорит процесс завершения нефтяной эпохи, а в долгосрочной перспективе сложится тенденция спада цен на нефть и заката нефтяного бизнеса. Наконец, радиационная катастрофа на АЭС «Фукусима-1» в Японии остро поставила вопрос о создании инновационной электроэнергетики и, более широко, об инновационном развитии энергетики в целом.



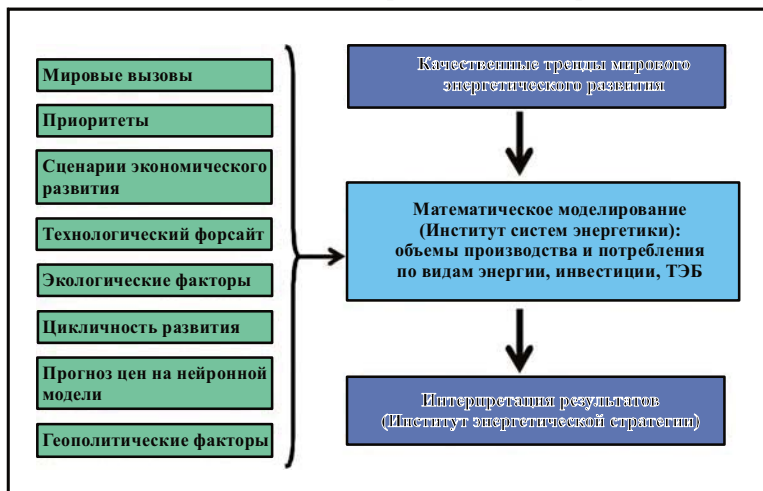
Источник: ИЭС.

Рис. 1. Актуальные проблемы мировой энергетики

Три тенденции – балансирование между глобализацией и регионализацией, завершение нефтяной эпохи, закат нефтяного бизнеса и создание инновационной энергетики – в значительной степени определяют будущее мировой энергетики и экономики. Происходит качественный сдвиг ситуации в мировой энергетике. Это требует принципиально новых, неинерционных подходов к ее прогнозированию.

Развитие мировой энергетики определяется сложным комплексом динамически меняющихся факторов, значительная часть которых лежит за пределами энергетики – в сфере политики, экономики, социальной динамики. Для решения прогностической задачи целесообразно применить сценарный подход. В нашем понимании сценарий – точка сборки взаимосвязанных демографических, экономических, технологических, политических, социокультурных, экологических и энергетических трендов.

Такой подход требует построения комплексных сценариев мирового развития, выходящих за собственно энергетические рамки. С 1970-х гг. в мире накоплен значительный опыт исследования будущего мировой энергетики с использованием математического моделирования и качественных сценарных подходов [9, 10, 11, 12, 16, 17, 19, 22]. В рамках настоящей работы использованы модели GEM (модель мировой энергетики) и MACRO (макроэкономическая модель) Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева (ИСЭМ, г. Иркутск). Взаимодействие аналитических блоков и моделей представлено на рис. 2.



Источник: ИЭС.

Рис. 2. Схема прогноза мировой энергетики

Базой для прогноза мировой энергетики является анализ *мировых вызовов и приоритетов энергетического развития*, которые определяются экспертным путем на основании долгосрочных трендов развития.

На основании вызовов и приоритетов формируются *макроэкономические сценарии*. Ретроспективный анализ позволяет прогнозировать дальнейшую динамику ключевых показателей мирового развития, причем не только экстраполировать существующие тренды, но и предсказывать их слом, связанный с достижением пределов их развития либо с ростом противоречий между ними. На этой основе определяются сценарные траектории развития мировой экономики, которые являются исходными данными для модели MACRO.

Технологический прогресс оказывает решающее влияние на структуру энергетики. Прогноз осуществляется на основе *технологического форсайта*, проведенного в Институте энергетической стратегии с использованием материалов Экспертного клуба промышленности и энергетики и других независимых экспертных организаций. Результаты форсайта учтены в параметрах технологий, заложенных в модели GEM.

Граничными условиями для прогноза мировой энергетики являются *ресурсные и экологические ограничения*. Они определяют масштабы развития отраслей топливной энергетики на глобальном уровне и в особенности в отдельных странах и регионах. Фактором энергетического развития является не столько собственно проблема нехватки запасов топливно-энергетических ресурсов или воздействие на природные факторы, сколько политико-экономическая обстановка вокруг данных проблем. Для учета этих ограничений используются сведения о мировых запасах энергетических ресурсов и сценарно заданные уровни выбросов CO₂, закладываемые в модели GEM.

Таким образом, макроэкономические сценарии, технологический форсайт, ресурсные и экологические ограничения являются базой для расчетов с использованием модели GEM (модель мировой энергетики) и MACRO (макроэкономическая модель). Но существует ряд факторов, которые наличные методы моделирования не отражают в полной мере, поэтому результаты расчетов обрабатываются экспертно.

Во-первых, необходимо учитывать *цикличность развития*. Прогнозирование на базе линейных трендов или их совокупности не дает точных результатов, потому что в нем не учитывается роль циклов

различной продолжительности. Между тем именно в критических точках циклов происходят многие важные события. Мы накладываем результаты прогноза циклических колебаний на долгосрочные тренды, определяемые с помощью модели, что дает более адекватные результаты.

Во-вторых, мы учитываем прогноз мировых цен на нефть и другие энергетические товары, выполняемый отдельно *с использованием нейронной модели*, которая обладает способностью к самообучению и позволяет выявить совокупность трендов и циклов в поведении цен. Наконец, нужно учесть также воздействие *геополитических факторов*, которое весьма значимо для энергетического развития.

Модельные расчеты опираются на многообразные исходные данные, определяемые путем анализа текущих трендов. Результатом моделирования являются траектории динамики развития мировой энергетики (по параметрам производства и потребления первичной и конечной энергии по регионам мира) на период до 2050 года. На основе полученных данных строится анализ качественных трендов развития энергетики, включая ожидаемые при таких объемных показателях сдвиги на рынках, в политических и социальных процессах. Конечный результат прогнозирования формируется путем наложения модельных расчетов, проведенных на базе сценарных предположений, и экспертных оценок качественных трендов развития мировой энергетики.

Энергетика рассматривается нами как сложная динамическая система противоречий, связанная с основными проблемами современного мирового развития: демографическими, ресурсными, финансовыми, технологическими, экологическими. Она обладает собственными трендами развития, которые не сводимы к внешним воздействиям и определяют избирательную чувствительность энергетики к ним.

РАЗДЕЛ 1

ТРЕНДЫ И ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В долгосрочной перспективе мировая система развивалась по гиперболическому закону¹, или в режиме с обострением [4, 6]. Этим законом описывается динамика численности населения, ВВП, потребления энергии и пр. С 1960 г. началось изменение режима роста мировой системы и выход из режима с обострением. Гиперболический рост мировой системы не является однородным. Длительные периоды сравнительно устойчивого развития (фазы) разделены короткими периодами фазовых переходов, когда меняется режим роста и сама основа развития социума. При этом переход может идти с различной скоростью и различными путями либо вообще не состояться, поэтому фазы разделы острыми кризисами, когда возникает возможность реализации нескольких сценариев развития.

1.1. Динамика мирового экономического и энергетического развития

Динамика мировой системы в 1800–1970 гг. определялась очередной фазой долгосрочного гиперболического роста – индустриальной. В рамках индустриальной фазы наблюдались несколько волн роста, разделенных острыми кризисами, которые сопровождались сменой парадигмы развития [3, 7]. Это кризис начала 1930-х гг., кризис начала 1970-х гг. и кризис конца 2000-х гг. (рис. 3). Кризис начала 1930-х гг. привел к тому, что резко усилилось государственное воздействие на экономику в США, Германии и СССР. Этот процесс совпал с ускоренной индустриализацией и резким ростом спроса на электрическую энергию для промышленности и нефтяное моторное топливо.

Кризис начала 1970-х гг. был вызван переходом США и Западной Европы к постиндустриальному развитию (рис. 4) и окончанием холодной войны. Резко возросла роль частного предпринимательства, произошли либерализация и монетизация мировой экономики, на смену кейнсианскому регулированию пришло монетаристское. Ускорилось развитие атомной энергетики, возрос спрос на газ как топливо для энергетики, обслуживающей малый и средний бизнес и жилищно-сервисную сферу.

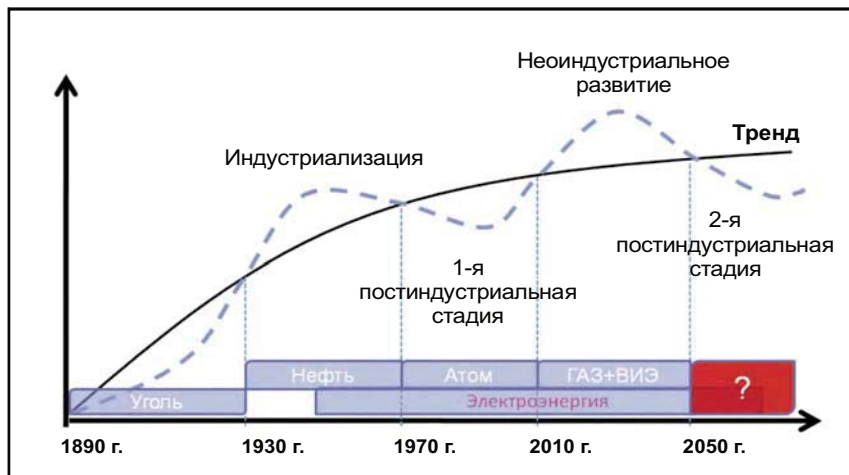
¹ Гиперболический рост описывает динамику системы, при которой не только абсолютные, но и относительные темпы роста определенного параметра увеличиваются по мере роста самого показателя.



Источник: ИЭС.

Рис. 3. Циклы и кризисы мирового развития

Кризис 1970-х гг. был разрешен переходом к постиндустриальной фазе развития. Три его основные составляющие – глобализация, информатизация и либерализация [1, 5]. Ключевые показатели мировой динамики после 1970 г. резко изменились. Темпы экономического роста снизились с 4–5 % в год в 1945–1970 гг. до 3 % в год в 1970–2010 годы. Темпы роста потребления энергии снизились с 5 % в год до 2 % и менее.



Источник: ИЭС.

Рис. 4. Динамика мирового индустриального развития

К концу 2000-х гг. темпы экономического и энергетического роста приблизились к историческим максимумам 1950–1960-х гг., причем максимальные темпы наблюдались в развивающихся странах. Но в 2000-е гг. с вовлечением ключевых развивающихся стран в мировую экономику были достигнуты пределы глобализации. Развитие информационной сферы стало приобретать отчетливо спекулятивный характер, проявившийся в кризисе высокотехнологичной экономики в США в 2001 г. и предшествующем ему буме. Произошло исчерпание потенциала глобализации, информатизации и либерализации, что было вскрыто в ходе глобального финансово-экономического кризиса 2008–2009 годов.

Возникла необходимость очередной смены парадигмы развития. Это потребовало усиления роли государства, перехода основных углеводородных ресурсов под контроль национальных нефтегазовых компаний (вместо доминирования транснациональных компаний), развития принципов регионального самообеспечения и национальной энергетической безопасности, интенсификации энергосбережения и развития ВИЭ.

Каждый кризис вызывал изменение динамики мировой энергетики (рис. 5), которая сходила с устойчивой траектории экспоненциального роста, характерной для докризисного периода

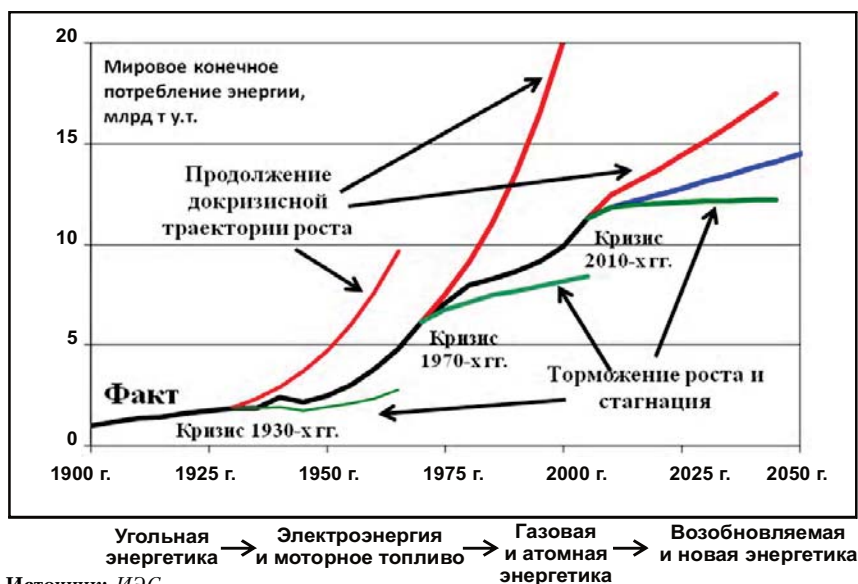


Рис. 5. Динамика мирового энергетического развития

Таблица 1. Связь экономического и энергетического роста

Стадия развития	Энерго- емкость ВВП	Прирост потребления ПЭР, % в год	Эластичность ВВП по потреблению ПЭР	Доминирующие источники энергии
Доиндустриальная	Н	Низкий	-	Некоммерческая энергия биомассы
Индустриальная	С	4 – 5	0,8 – 2,2	Уголь, нефть
Развитое индустриальное общество	В	2	0,4 – 0,8	Нефть, электроэнергия
Переход к постиндустриальной	С	0 – 1	0,0 – 0,3	Диверсификация ТЭБ, природный газ, атом, начало перехода к ВИЭ
Постиндустриальная	Н	< 0	< 0,0	Неисчерпаемые ИЭ

Примечание. Н – низкие темпы роста, С – средние, В – высокие.

Источник: ИЭС.

(1945–1970, 1980–2005 гг.). В ходе кризиса темпы роста мирового энергопотребления снижались и могли становиться отрицательными, а после кризиса формировалась новая устойчивая траектория экспоненциального роста. Ключевым следствием кризисов индустриальной фазы 1970-х гг. и постиндустриальной фазы 2000-х гг. для энергетики была смена приоритетных источников энергии, хотя динамика ТЭБ в силу инерционности менялась весьма медленно. Кризис 1970-х гг. привел к сдвигу от использования нефти к использованию природного газа, атомной энергии и временно – угля (табл. 1). Кризис 2000-х гг. привел к сдвигу от использования топливных источников энергии к возобновляемой энергетике.

Если до 1970-х гг. разрыв по большинству социально-экономических показателей между развитыми и развивающимися странами возрастал в силу ускорения роста в развитых странах, то затем он начал сокращаться. Между тем, как показывают многочисленные миросистемные исследования [2], мировая индустриальная система может существовать только в рамках модели «Центр – полупериферия – периферия». Если в 1970-е гг. было исчерпано доступное пространство для добычи ресурсов, то в 2000-е гг. было исчерпано доступное пространство для размещения производства. В 2030-е гг. следует ожидать кризиса, связанного с исчерпанием потенциальных рынков сбыта. Рост уровня жизни (при замедлении роста населения) в развивающихся странах приведет к насыщению крупнейших рыночных ниш создания инфраструктуры и производства базовых промышленных товаров. Исходя из продолжительности волн к 2030 г. следует ожидать также кризиса перехода от пятой волны Кондратьева к шестой.

1.2. Новая энергетическая цивилизация

Долгосрочные тренды мирового экономического и энергетического развития говорят о том, что в перспективе 2010–2050 гг. можно ожидать формирования новой энергетической цивилизации, основанной на энергетической эффективности в ее обобщенном понимании. Происходит выход мировой энергетики из режима гиперболического роста с соответствующим изменением ее качественных характеристик. Такой процесс требует перехода от неравновесной топливной энергетики к равновесной нетопливной. Этот переход по глубине сопоставим только с переходом от традиционной энергетики доиндустриального общества, основанной на сжигании биомассы, к индустриальной энергетике, основанной на сжигании ископаемого топлива.

Основные характеристики новой энергетической цивилизации будут состоять в следующем (рис. 6). Это, во-первых, переход ко «всеобщему производству энергии» на базе интеграции энергетики во все технические системы, включая как производственные, так и коммунальные («активный дом»).

Во-вторых, произойдут радикальное повышение управляемости энергетических потоков и переход от «силовой» энергетики



Источник: ИЭС.

Рис. 6. Переход от «силовой» к «умной» энергетике

к «умной» энергетике и интеллектуальным системам, начиная с электроэнергетических систем, а затем и в других отраслях энергетики. Происходит интеллектуализация энергетики, в ней снижается роль собственно технологических промышленных процессов и растет роль систем управления и информационных технологий. Одновременно меняются ведущие источники энергии. В-третьих, осуществится сдвиг от ископаемых топлив в пользу возобновляемых и новых источников энергии. В-четвертых, произойдет радикальное повышение энергоэффективности, причем ее рост станет устойчивым процессом и ключевым критерием энергетического развития. В-пятых, изменится организация энергетических рынков, совершится переход от рынков сырьевых товаров к рынку энергетических услуг, а затем к рынку энергетических технологий. В-шестых, будет создан крупнейший сектор энергосервисных услуг по управлению энергосбережением и его оптимизации, который и станет основой для повышения энергоэффективности. В-седьмых, сформируются конкурентоспособные альтернативы моторному топливу на транспорте, которые займут значимую долю рынка и приведут к постепенному закату нефтяной эпохи. В-восьмых, изменится структура генерирующих мощностей в электроэнергетике за счет быстрого роста доли возобновляемой энергетики и быстрого прогресса соответствующих технологий. Радикально изменятся принципы организации электроэнергетических систем («умные» сети, децентрализация энергетики, интеграция ее с техносферой, управление энергопотреблением в режиме реального времени, технологии накопления и передачи электроэнергии и пр.). В энергетике ожидается быстрый прогресс в технологиях возобновляемой и атомной (реакторы на быстрых нейтронах) энергетики. Наконец, усилится роль наиболее квалифицированных видов энергопотребления.

1.3. Технологическая картина мира

Технологическая картина динамично изменяется и в перспективе 2010–2050 гг. может привести к радикальным изменениям в мировой энергетике – к энергетической революции [10, 11, 17]. Помимо быстрого прогресса и внедрения уже существующих технологий и направлений, к 2030 г. следует ожидать появления принципиально новых энергетических технологий и источников энергии. Направление и динамика изменений зависят от сценария развития мировой системы в целом и энергетики в частности.

Ключевые технологические тренды в мировой энергетике будут состоять не только в развитии конкретных новых технологий, но и в

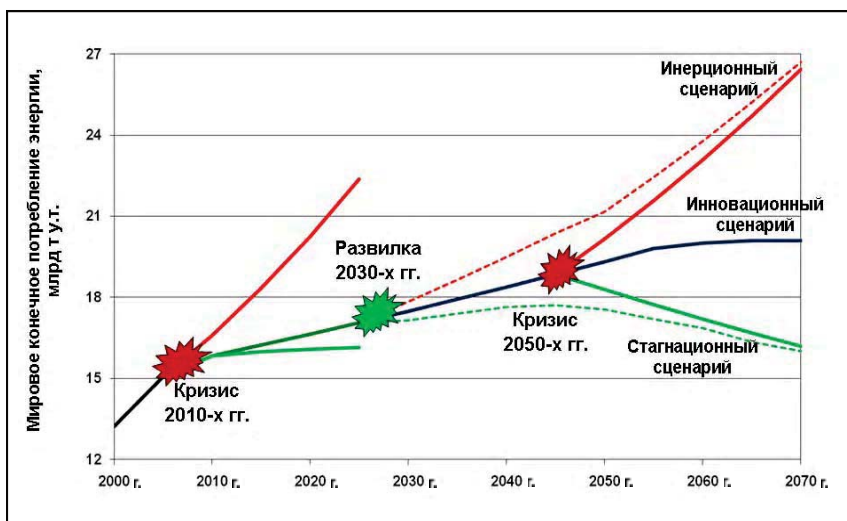
принципиальном изменении организации технологического развития. Сейчас оно происходит в основном в форме разработки и последующего внедрения отдельных частных технологий, причем в ходе процесса внедрения возникают значительные экономические и технические трудности. Существующие технологические платформы в значительной степени носят формальный характер и представляют собой компиляцию существующих технических решений. В перспективе технологическое развитие будет осуществляться исходя не из предложения научно-технических разработок, а из спроса на комплексные технологические решения. Такой подход будет обеспечивать гарантированный спрос и востребованность научно-технических разработок. Реализуются модульный принцип организации технологий и соответствие требованиям заказчика при оптимальных затратах.

Мир стоит на пороге энергетической революции, содержанием которой будет переход от индустриальной к постиндустриальной энергетике. В 2000-е гг. в развитых странах сформировались предпосылки энергетической революции. Энергетика индустриальной фазы – это крупные централизованные источники энергии на ископаемом топливе с ориентацией на валовой поток энергии. Энергетика постиндустриальной фазы – это децентрализованные источники энергии с ориентацией на использование энергии ВИЭ и управление потоком энергии. По сути, это переход от «силовой» энергетики к «умной». Основные направления энергетической революции: энергосбережение; «умные» сети (шире – «умная» энергетика); электроэнергетические системы нового поколения; децентрализация энергетики; возобновляемые источники энергии; альтернативные виды энергоснабжения транспорта; углеродные рынки. К настоящему времени каждое из указанных направлений – это крупная отрасль экономики (с оборотом в десятки и даже сотни миллиардов долларов), показывающая устойчивые и очень высокие темпы роста. Все эти направления прошли «точку невозврата» и вошли в стадию необратимого быстрого роста.

1.4. Сценарии развития мировой энергетики

Переход к новой энергетической цивилизации в 2010–2050 гг. может происходить различными путями в зависимости от сценария развития мировой энергетики. Сценарии формируются на основе методологии, учитывающей энергетические, технологические, экономические, экологические, политические, социальные факторы развития. Они являются способом «упаковки» сложного комплекса трендов.

Инерционный сценарий предполагает продолжение постиндустриальной фазы и острый кризис после 2030 г. из-за достижения пределов роста индустриальной фазы. Предполагается расширение индустриальной энергетики в развивающихся странах при медленном развитии постиндустриальной энергетики в развитых странах. В результате неизбежны быстрый рост спроса на энергоносители, в том числе на ископаемое топливо всех видов, рост противоречий на этой почве, ухудшение экологической ситуации (рис. 7). С точки зрения доминирующего энергоносителя этот сценарий можно назвать углеродным.



Источник: ИЭС.

Рис. 7. Сценарии мирового энергетического развития

Стагнационный сценарий предполагает управляемое развитие через экологическую парадигму и создание информационного общества. Стагнационный сценарий предполагает применение целого комплекса политических, экономических и правовых механизмов для борьбы с рисками инерционного сценария. Темпы энергетического роста в развивающихся странах будут существенно ниже.

Инновационный сценарий предполагает преодоление пределов роста индустриальной фазы и переход к новой фазе к 2030 году. Ключевой чертой новой фазы должно стать комплексное развитие человека и связанных с ним технологий – биологических, информационных, социальных, когнитивных. Инновационный сценарий предполагает формирование энергетики нового типа в развитых и

в некоторых лидирующих развивающихся странах. Это позволит обеспечить снижение геополитических и экологических рисков, повысить качество энергоснабжения, создать новые технологические возможности для конечного потребителя.

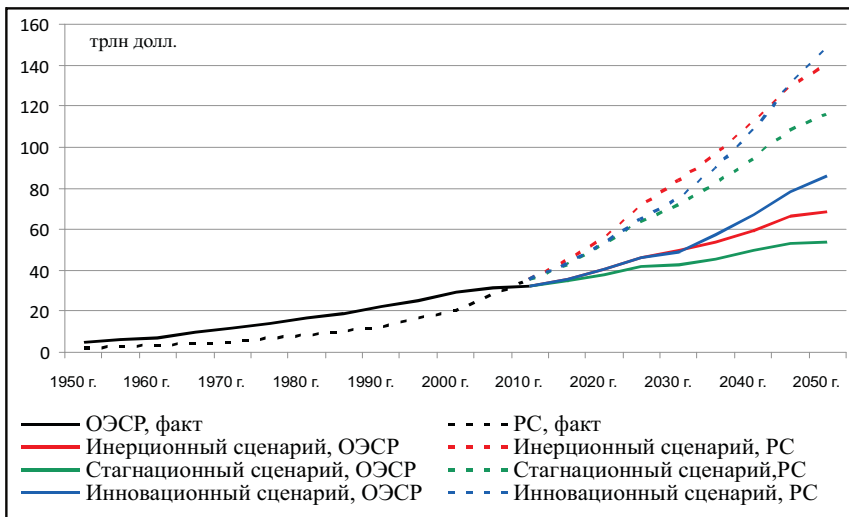
РАЗДЕЛ 2

ОБЩИЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Сценарии развития мировой энергетики существенно различаются с точки зрения общих трендов развития энергетики – динамики энергоемкости мирового валового внутреннего продукта, первичного и конечного потребления энергии по видам, а также выбросов парниковых газов.

2.1. Динамика экономического роста

Сценарии различаются как динамикой ВВП, так и основными факторами роста. Инерционный сценарий – это продолжение индустриального роста, стагнационный – постиндустриальное развитие с акцентом на виртуальной экономике, инновационный – неоиндустриальное развитие. Мировой ВВП в 2011–2050 гг. вырастет в 2,4–4,1 раза, в зависимости от сценария. В инерционном сценарии ВВП развитых стран к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 2,1 раза, развивающихся стран – в 3,9 раза (рис. 8). Разрыв в темпах роста между этими группами стран максимален,



Примечание:

1. ОЭСР – развитые страны. РС – развивающиеся страны.
2. В постоянных ценах 2010 года.

Источник: расчеты ИЭС с использованием [13].

Рис. 8. Динамика мирового ВВП в 1950–2050 гг.

поскольку быстрая индустриализация развивающихся стран сочетается с медленным развитием постиндустриального типа в развитых странах.

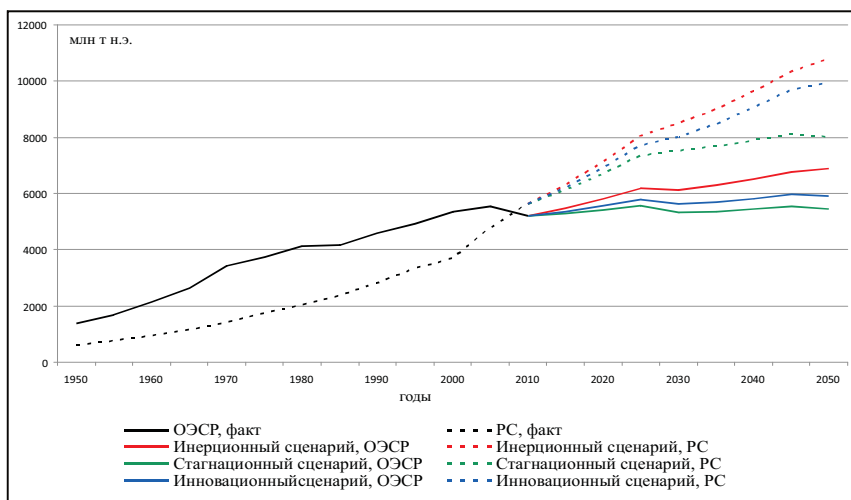
В стагнационном сценарии ВВП развитых стран к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 1,7 раза, развивающихся стран – в 3,1 раза. Замедление роста в этом сценарии будет особенно ощутимым в развивающихся странах. В инновационном сценарии ВВП развитых стран к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 2,7 раза, развивающихся стран – в 4,1 раза. Ускорение роста будет особенно значительным в развитых странах, которые смогут выйти на качественно новый уровень развития.

2.2. Динамика и структура потребления первичной энергии

Мировое потребление первичной энергии зависит от темпов роста мирового ВВП, от структуры этого роста, эффективности преобразования первичной энергии в конечную. Инерционный сценарий предполагает отказ от перехода к новой энергетической цивилизации, стагнационный – реализацию ее отдельных элементов, инновационный – полную реализацию ее потенциала. Как следствие, инерционный сценарий является энергорасточительным: он характеризуется средне-высокой динамикой ВВП и высокой динамикой энергопотребления (рис. 9). Стагнационный сценарий – сценарий энергосбережения с низким ростом ВВП и медленным ростом энергопотребления. Инновационный сценарий – энергоэффективный и сопровождается быстрым ростом ВВП при умеренном росте потребления энергии. Таким образом, именно энергоэффективность является центральным элементом новой энергетической цивилизации.

В перспективе 2011–2050 гг. мировое потребление первичной энергии вырастет в 1,22–1,61 раза. В инерционном сценарии потребление первичной энергии в развитых странах к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 1,22 раза, в развивающихся странах – в 1,92 раза. В развивающихся странах быстрая индустриализация потребует массированного наращивания потребления энергоносителей.

В стагнационном сценарии потребление первичной энергии в развитых странах к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 1,04 раза, в развивающихся странах – в 1,42 раза. Постиндустриальное развитие в развитых странах определит стагнацию, а затем и



Примечание. ОЭСР – развитые страны. РС – развивающиеся страны.

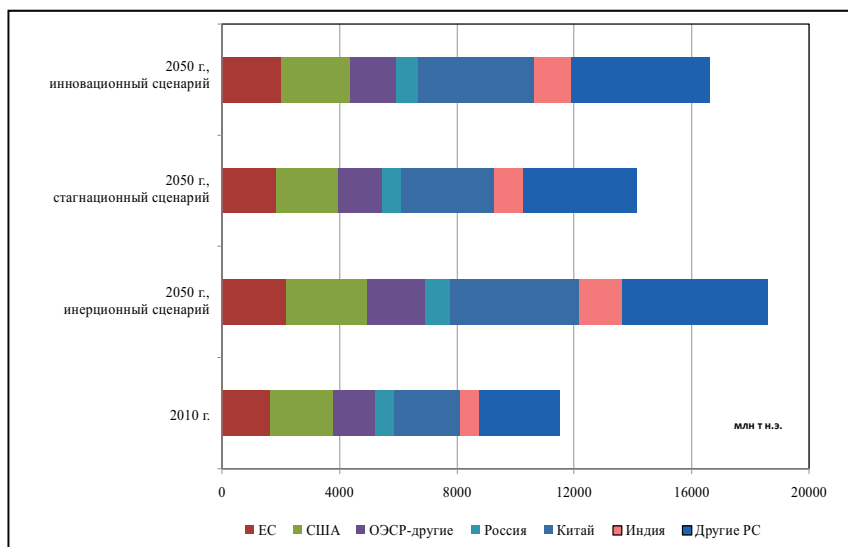
Источник: расчеты ИЭС с использованием [8].

Рис. 9. Динамика мирового потребления первичной энергии в 1950–2050 гг.

снижение потребления энергии (с 2030 г.), а климатическая и экологическая политика будут способствовать распространению этих тенденций на развивающиеся страны. В инновационном сценарии потребление первичной энергии в развитых странах к 2050 г. вырастет по сравнению с уровнем 2010 г. в 1,14 раза, в развивающихся странах – в 1,76 раза. Умеренные темпы роста потребления энергии при высоких темпах роста ВВП будут обусловлены становлением новой энергетической цивилизации.

Тренд сдвига потребления первичной энергии в развивающиеся страны ожидается во всех сценариях, но наиболее сильно он будет выражен в инновационном сценарии, а наиболее слабо – в стагнационном (рис. 10). Это определяется различными темпами формирования постиндустриальной энергетики в зависимости от сценария.

С точки зрения структуры производства энергии ключевой тенденцией во всех сценариях будет сдвиг в пользу возобновляемой энергетики (табл. 2, рис. 11). Доля новых ВИЭ (без большой гидроэнергетики) к 2050 г. достигнет 10,1–34,4 % мирового потребления первичной энергии (2010 г. – 1,8 %). При этом доля гидроэнергетики возрастет с 4,8 до 5,2–6,6%. Максимальное развитие возобновляемой энергетики (особенно солнечной) будет наблюдаться в инновационном сценарии, минимальное (преимущественно ветровой) – в инерционном сценарии.



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 10. Структура мирового потребления первичной энергии (региональный аспект)

Таблица 2. Мировое потребление первичной энергии по сценариям, млн т н.э.

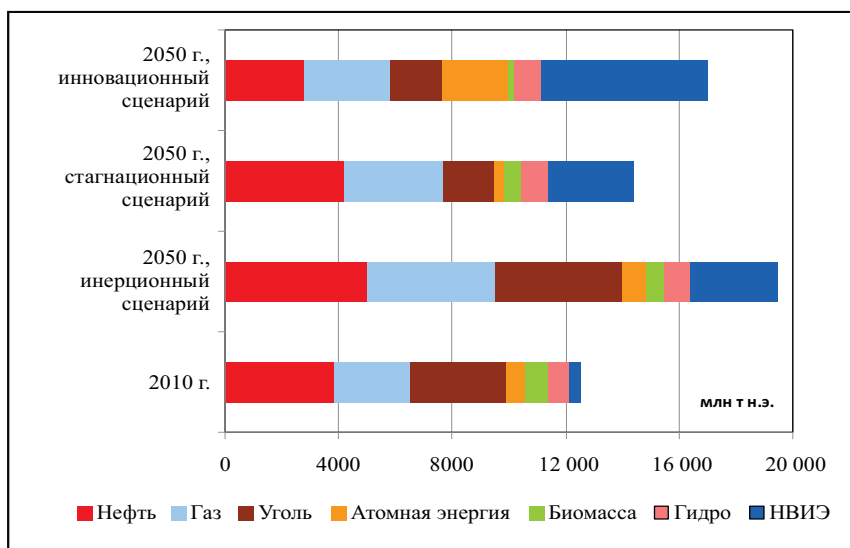
	2010 г.	Инерционный сценарий		Стагнационный сценарий		Инновационный сценарий	
		2030 г.	2050 г.	2030 г.	2050 г.	2030 г.	2050 г.
Нефть	3882	4627	5018	4441	4188	3641	2757
Природный газ	2653	3952	4522	3306	3483	3292	3092
Уголь	3278	4617	4487	3209	1794	3526	1812
Атомная энергия	626	776	824	512	349	1335	2333
Биомасса	650	600	600	600	600	300	200
Гидроэнергия	572	729	952	729	952	729	952
Новые ВИЭ	210	1040	1835	1481	3019	1860	5846
Всего	11871	16342	18239	14279	14386	14683	16993

Источник: ИЭС по данным [12].

Доля нефти во всех сценариях будет снижаться с 32,1 % в 2010 г. до 16,2–29,1% в 2050 г. (рис. 11). Как можно видеть, радикальность снижения доли нефти в ТЭБ может быть совершенно различной. Она зависит в первую очередь от перспектив формирования альтернативных нефтепродуктам видов энергоснабжения автотранспорта.

Доля природного газа может как снизиться, так и возрасти (от 18,2 % в 2050 г. в инновационном сценарии до 24,8 % в инерционном сценарии) по сравнению с современным уровнем (22,3 %). Такая двойственная динамика объясняется тем, что по мере ужесточения климатической политики потребление природного газа сначала растет вследствие замещения угля, а затем снижается в результате конкуренции со стороны ВИЭ. Доля угля во всех сценариях будет снижаться с 27,5 % в 2010 г. до 10,7–24,6 % в 2050 году. Мы считаем, что сценарий быстрого роста потребления угля и его доли в энергобалансе не является реалистичным. Радикальность снижения доли угля в ТЭБ зависит от жесткости экологических ограничений и скорости их адаптации развивающимися странами.

Атомная энергетика отличается максимальной неопределенностью. Существуют принципиально разные сценарии ее развития начиная от консервации (инерционный сценарий) либо даже сворачивания (стагнационный сценарий) до быстрого развития на новой технологической основе (инновационный сценарий). Доля атомной энергии к 2050 г. может составить 2,4–13,7 % по сравнению с 5,3 % в настоящее время. Наиболее вероятным является средний сценарий, поскольку как быстрый рост, так и быстрое сворачивание отрасли приведет к тяжелым проблемам.



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 11. Структура мирового потребления первичной энергии (отраслевой аспект)

Наконец, доля биомассы будет постепенно снижаться по сравнению с современным уровнем в 5,5 %. При этом будет быстро расти использование современных видов биомассы, в то время как потребление традиционных видов станет снижаться. Они будут вытесняться либо топливными источниками энергии (в инерционном сценарии), либо ВИЭ (в инновационном сценарии).

2.3. Динамика и структура конечного потребления энергии

В ходе энергетического развития наблюдается непрерывная тенденция к повышению уровня квалификации используемых видов энергии – уровня управляемости потока энергии и его плотности. После 1970 г. тренд роста квалификации использования энергии стал определяющим для динамики энергетики в развитых странах, включая развитие систем управления энергопотреблением, развитие энергосбережения, а также рост доли электроэнергии в конечном потреблении энергии, что в будущем может привести к формированию «электрического мира». Из-за роста эффективности потребление конечной энергии постепенно приближается к потреблению первичной энергии, но повышение квалификации используемой энергии (часто сопровождаемое увеличением числа преобразований энергии) частично нивелирует этот эффект.

В перспективе 2011–2050 гг. мировое конечное потребление энергии вырастет в 1,30–1,68 раза (табл. 3), несколько опережая потребление первичной энергии за счет повышения эффективности использования энергии (следует отметить, что соотношение между ними зависит от ряда условных допущений в расчете ТЭБ, поэтому не должно абсолютизироваться). Конечное потребление энергии формируется тремя крупнейшими секторами: производственным (включая промышленность и сферу услуг), транспортным, коммунальным. В 2011–2050 гг. они будут играть примерно равную роль в приросте потребления в инерционном сценарии. В стагнационном сценарии практически весь, а в инновационном сценарии – основная часть прироста сосредоточена в промышленном секторе. Максимальный потенциал энергосбережения сосредоточен в транспортном и коммунальном секторах, а рост энергопотребления в промышленности неизбежен (см. табл. 3).

Потребление первичной энергии в мировой промышленности составляет в настоящее время 2,4 млрд т н.э. – более трети всего конеч-

Таблица 3. Динамика конечного потребления энергии по секторам, млрд т н.э.

Фактор	2010 г.	Инерционный сценарий		Стагнационный сценарий		Инновационный сценарий	
		2030 г.	2050 г.	2030 г.	2050 г.	2030 г.	2050 г.
Промышленный сектор	2,2	3,1	4,1	3,0	3,9	3,7	4,0
Коммунальный и сервисный сектор	3,2	4,3	4,9	4,0	3,9	3,9	4,0
Транспортный сектор	2,3	3,2	4,0	2,4	2,0	2,2	2,2
Прочие сектора	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Всего	7,8	10,8	13,0	9,5	10,0	10,0	10,4

Источник: *расчеты ИЭС.*

ного потребления энергии. К 2050 г. оно достигнет 3,9–4,1 млрд т н.э. увеличившись в 1,6–1,7 раза. Основными направлениями повышения энергоэффективности в промышленности будут использование вторичного сырья, мембранные технологии и переход к нетермическим способам активации реакций (электронно-лучевым, лазерным, электротермическим, фототермическим) в химической промышленности, применение ультразвука (резонансное резание) и волоконных лазеров в металлообработке (табл. 4).

Потребление топлива в коммунальном секторе в мире составляет 3,0 млрд т н.э., или более трети конечного потребления. К 2050 г. оно достигнет 3,9–4,9 млрд т н.э., увеличившись в 1,3–1,6 раза. Мировое потребление энергии для отопления, вентиляции и кондиционирования составляет 3,4 млрд т н.э. (40% конечного потребления). Электропотребление в системах освещения составляет примерно 3,6 трлн кВт·ч, или 19 % мирового потребления электричества. Потребление электроэнергии бытовыми приборами в зданиях составляют на 2005 год 6,3 трлн кВт·ч (без учета освещения), или около 30 % всей потребляемой электроэнергии в мире.

Основными инновационными направлениями развития в коммунальном секторе будут оптимизация теплоснабжения, люминесцентные лампы, светодиоды белого цвета, распространение систем управления освещением, повышение эффективности бытовых приборов. Кроме того, важную роль будут играть комплексные решения в коммунальном секторе – концепции «энергоэффективного дома» (включая как «пассивный дом», так и «активный дом») и «энергоэффективного города» (см. табл. 4).

Таблица 4. Основные инновации в сфере конечного потребления

Промышленный сектор	Коммунальный сектор	Транспортный сектор
Зрелые технологии		
Использование вторичного сырья	Оптимизация теплоснабжения	Совершенствование двигателей внутреннего сгорания
Управление энергопотреблением	Повышение эффективности электроники и электротехники	Оптимизация энергопотребления техническими системами
Формирующиеся технологии		
Мембранные технологии, нетермические способы активации химических реакций	Люминесцентные лампы, светодиоды, системы управления освещением	Биотопливо второго поколения
Новые методы металлообработки	Концепции «Энергоэффективный дом» и «Энергоэффективный город»	Гибридные автомобили Электромобили

Источники: ИЭС.

В 2010-е гг. стандарты энергопотребления зданий станут обязательными при новом строительстве в Великобритании, США и ЕС. «Активные дома» — дома не только с пониженным потреблением, но и с производством энергии (биотопливо, солнечная энергетика). Технология «активного дома» не вышла за стадию экспериментов. «Энергоэффективный город» — обобщение технологии «энергоэффективного дома»: технические, организационные и экономические решения, дающие низкое потребление энергии (освещение, транспорт, сетевая инфраструктура и пр.), что предполагает включение в городское пространство объектов производства энергии (на основе ВИЭ и вторичных источников энергии).

Потребление первичной энергии на транспорте составляет 2,2 млрд т н.э., или 25 % конечного потребления, 95 % энергопотребления транспортом обеспечивается за счет нефтепродуктов, 48 % топлива потребляется легковыми автомобилями, 17 % — тяжелыми грузовыми, 13 % - воздушным транспортом, 9 % — легкими коммерческими автомобилями (без международного бункерного топлива). В зависимости от сценария развития мировой энергетике возможен

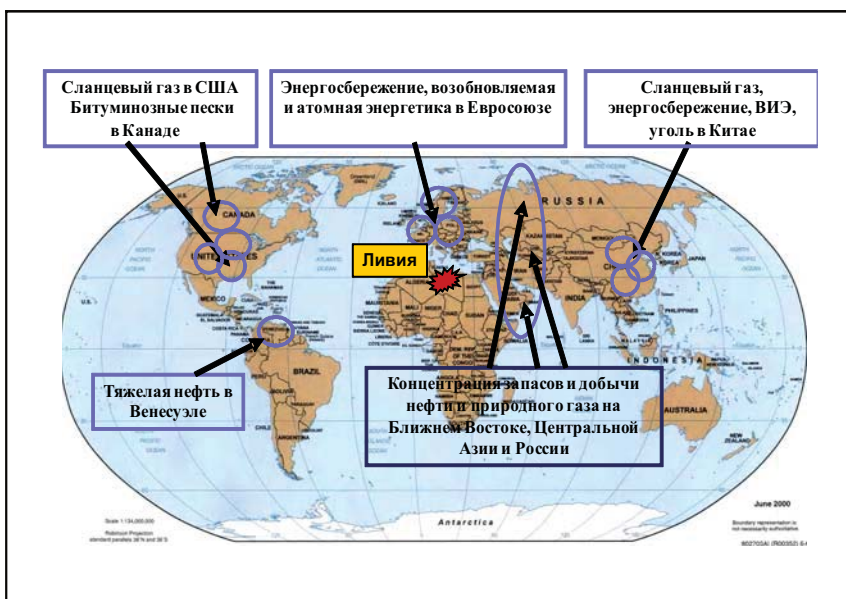
как значительный рост (в 1,8 раза), так и слабое сокращение потребления (на 10 %). Основными инновационными направлениями развития в транспортном секторе будут совершенствование двигателя внутреннего сгорания и повышение эффективности систем кондиционирования и торможения, электромобили и гибридные автомобили, переход от биотоплива первого поколения (на основе сельскохозяйственных культур) к биотопливу второго поколения (на основе целлюлозы) и далее – к биотопливу третьего поколения на базе специальных водорослей.

Распространение электромобилей в настоящее время сдерживается их высокой стоимостью и ограниченным пробегом без подзарядки. Создание эффективных аккумуляторов, которое ожидается к 2020 г., приведет к снижению спроса на нефтепродукты, росту спроса на электроэнергию и изменению режима нагрузки. Рост доли гибридных и электрических видов транспорта требует роста потребления литиевых батарей и ряда редкоземельных металлов (ниобий, тантал).

2.4. Энергетика и процессы глобализации и регионализации

Энергетика является одним из важнейших факторов глобализации мировой экономики. Процесс современной финансовой и экономической глобализации начался в 1970-е гг., и его выражением стал энергетический кризис (в первую очередь нефтяные «шоки» 1970-х гг.). Мировая энергетика достигла очень высокого уровня интеграции. Международная торговля нефтью составляет 68,3 % ее потребления, а торговля природным газом – 47,0%. Доля импортной нефти в потреблении стран ОЭСР составляет 64 %, ЕС – 76 %, стран Восточной, Южной и Юго-Восточной Азии – 43 %.

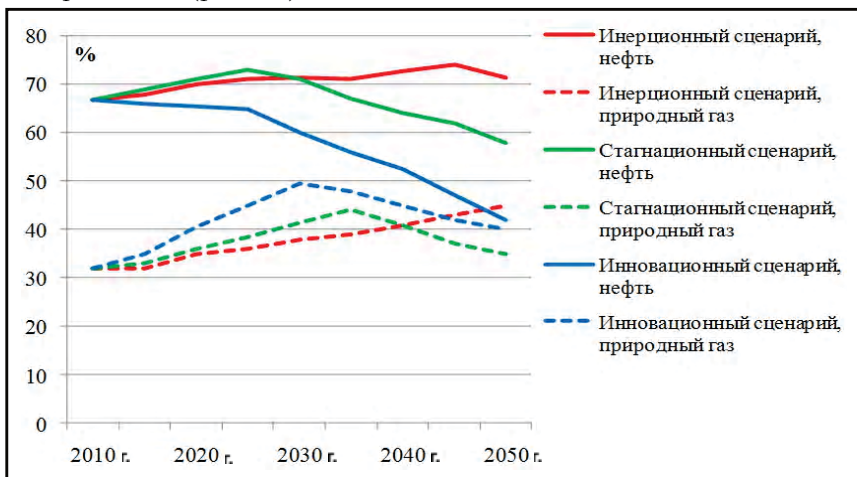
Тенденция к разделению мира на самодостаточные регионы, с одной стороны, способствует внутрирегиональной интеграции, а с другой – отчасти противодействует тенденции к глобализации (рис. 12). В ближайшие годы мы станем свидетелями конвергенции процессов глобализации и регионализации в энергетической сфере, как это уже произошло в ряде отраслей промышленности. На смену глобальному доминированию производителей энергии приходит доминирование ее покупателей, что уже в ближайшем будущем может существенно повлиять на сложившуюся энергетическую картину мира.



Источник: ИЭС.

Рис. 12. Факторы глобализации и регионализации мировой энергетики

Доля международной торговли в потреблении нефти, скорее всего, начнет снижаться уже в 2020-е гг., а в потреблении природного газа – в 2030-е гг., хотя между сценариями наблюдаются значительные различия (рис. 13).



Источник: расчеты ГУ ИЭС.

Рис. 13. Доля мировой торговли в потреблении нефти и природного газа

В инерционном сценарии в 2011–2050 гг. продолжится быстрая глобализация рынка природного газа, а доля международной торговли в потреблении нефти будет медленно расти. Напротив, в стагнационном и особенно в инновационном сценарии ожидается снижение доли международной торговли для нефти. Для природного газа быстрый рост в период 2011–2030 гг. сменяется достаточно быстрым падением.

2.5. Энергетика и изменение климата

Проблема предотвращения изменения климата в настоящее время стала ключевой экологической проблемой, которая актуализирована в политическом и международном плане. В настоящее время антропогенный характер изменения климата признается большинством научных организаций и политических сил, хотя некоторые специалисты полагают, что главный движущий фактор этого процесса – природные циклы различных генезиса и продолжительности.

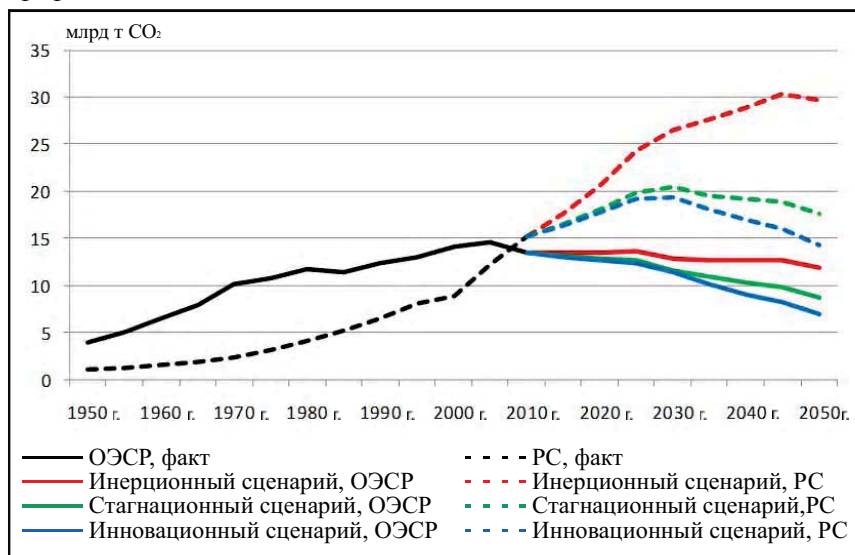
На конференции в Копенгагене в декабре 2009 г. и в Канкуне в декабре 2010 г. не удалось добиться заключения нового соглашения, которое с 2013 г. должно прийти на смену Киотскому протоколу. Копенгагенское соглашение не носит юридически обязывающего характера из-за позиции крупнейших развивающихся стран (Китай, Индия, Бразилия, ЮАР). Тем не менее роль климатического фактора в энергетическом развитии будет расти. Ожидается введение мер «углеродного» протекционизма со стороны ведущих развитых стран, если выбросы в стране-производителе не облагаются «углеродными» налогами или обязательствами по снижению выбросов.

Ожидается развитие национальных систем торговли выбросами. В 2009 г. объем торговли на всех углеродных рынках (включая как международные, так и национальные и региональные) составил 125 млрд долл. США. Рынок торговли углеродом может превысить 1,3 трлн долл. к 2020 г. в случае введения национального рынка в США, Японии и Китае, где уже рассматривается этот вопрос. Для перехода к низкоуглеродной энергетике стоимость 1 т выбросов CO₂ должна достигнуть 100–125 долл., в то время как в рамках существующих соглашений она составляет около 30 долларов.

Считается, что изменение температуры более чем на 2,0–2,4 градуса по сравнению с доиндустриальным уровнем приведет к непредсказуемым пороговым последствиям. Для ограничения темпера-

турного тренда ниже критической величины мировые выбросы CO_2 в энергетике должны сократиться к 2050 г. на 50 % по сравнению с уровнем 2000 г. (до 14 Гт). При этом максимум выбросов должен быть достигнут к 2020 г. (30 Гт CO_2 в год), а затем они должны начать сокращаться. Поэтому для предотвращения катастрофического изменения климата необходима глубокая перестройка мировой энергетики.

В инерционном сценарии консервация индустриальной фазы развития, несмотря на замедление темпов экономического роста, приведет к продолжению роста потребления ресурсов и производства отходов. Приоритет экономического роста и технологические ограничения будут препятствовать эффективной экологической и климатической политике. К 2050 г. мировые выбросы CO_2 достигают 41,6 млрд т (рис. 14). Кумулятивные выбросы CO_2 составляют 1600 млрд т. Концентрация парниковых газов к 2050 г. достигает 800 ppm CO_2 -эквивалента, что вызовет рост глобальной температуры более чем на 3,0 градуса и увеличение частоты катастрофических природных явлений.



Примечание. ОЭСР – развитые страны, РС – развивающиеся страны.

Источник: расчеты ИЭС по данным [8, 14].

Рис. 14. Уровень выбросов парниковых газов в энергетике в 1950–2050 гг.

В стагнационном сценарии замедление темпов экономического роста, постиндустриальная модель развития, усиление экологической парадигмы приведут к замедлению темпов роста потребления

ресурсов и производства отходов, а затем и к их стабилизации. К 2030 г. мировые выбросы CO_2 достигают 32,0 млрд т, а к 2050 г. снижаются до 26,7 млрд т. Кумулятивные выбросы CO_2 составляют 1300 млрд т. Концентрация парниковых газов к 2050 г. достигает 550 ppm CO_2 -эквивалента.

В инновационном сценарии переход к когнитивной фазе развития даст возможность сделать климатическую политику инструментом инновационного развития. К 2030 г. мировые выбросы CO_2 достигают 30,8 млрд т, а к 2050 г. снижаются до 21,3 млрд т. Кумулятивные выбросы CO_2 составляют 1000 млрд т. Концентрация парниковых газов к 2050 г. достигает 450 ppm CO_2 -эквивалента, что позволяет избежать катастрофических природных последствий.

РАЗДЕЛ 3

ОТРАСЛЕВЫЕ ТРЕНДЫ

Сценарии развития мировой энергетики, с одной стороны, зависят от тенденций развития отдельных отраслей энергетики, а с другой – сами формируют эти тенденции через системный запрос потребителей на энергетику определенного типа. Этот запрос, в свою очередь, определяется характером экономического развития.

3.1. Тренды в нефтяной отрасли

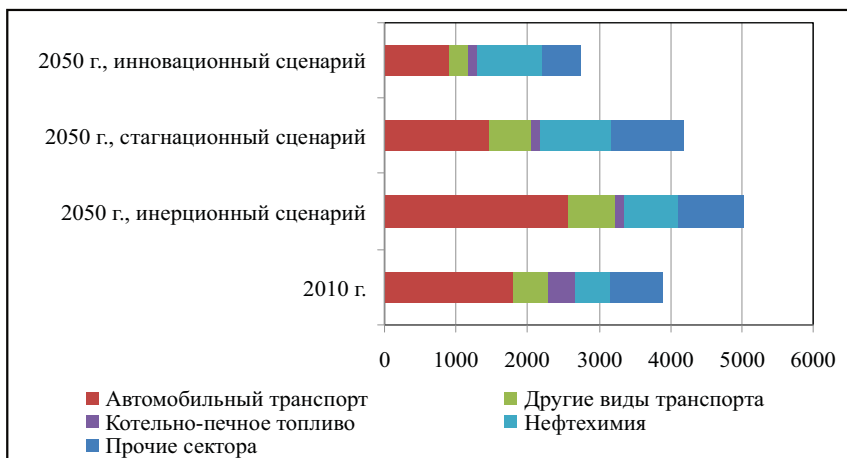
В настоящее время на нефтепродукты приходится 95 % общего потребления топлива на транспорте (100 % для воздушного, 100 % для морского, 95 % для автомобильного, 70 % для железнодорожного, до 70 % для городского пассажирского транспорта). На транспортный сектор приходится 61 % общего потребления нефтепродуктов, при этом доля автомобильного транспорта (включая грузовой) достигает 48 %. Существует высочайшая взаимная зависимость транспортного сектора и нефтяной отрасли. В то время как другие виды топливно-энергетических ресурсов в определенной степени взаимозаменяемы, нефть как сырье для производства моторного топлива до недавнего времени не имела реальной альтернативы.

В случае сочетания быстрого роста автопарка и сохранения доминирования нефтепродуктов потребление нефти в транспортном секторе (95 %, инерционный сценарий) вырастет с 2,2 до 3,2 млрд т н.э. к 2050 году. В таком сценарии возможна физическая нехватка добычи нефти к 2030 г. в размере до 5–8 % потребления. Она потребует добычи нетрадиционных видов нефти, производства жидких продуктов из газа и угля, приведет к напряженности баланса моторного топлива, высоким ценам и рискам. В других сценариях потребление нефтепродуктов на транспорте оказывается существенно ниже. В стагнационном сценарии это достигается в первую очередь за счет замедления роста автопарка. В инновационном сценарии главным фактором будет быстрое повышение эффективности транспорта и распространение альтернативных видов энергии на транспорте. При этом доля нефтепродуктов может составить от 45 до 60 %. Роль электромобилей значимо вырастет после 2020 года. К 2050 г. свыше 50 % автопарка может быть гибридными автомобилями.

Потенциал роста альтернативных нефтепродуктам видов энергии на транспорте весьма велик и суммарно составляет 1500 млн т н.э. к 2050 году. Вместе с тем одновременное развитие всех указанных технологий невозможно по технологическим и экономическим при-

чинам. Анализ показывает, что в инновационном сценарии к 2050 г. их совокупный вклад в энергоснабжение транспорта может достичь 1100 млн т н.э., или 60 %.

Потребление котельно-печного топлива снизилось с 1970 г. в 4 раза (до 700 млн т н.э.) и продолжит снижаться далее. Потребление нефти в нефтехимии продолжит расти в силу необходимости насыщения спроса на ее продукты в развивающихся странах, как промышленного (по мере индустриализации), так и особенно потребительского (по мере урбанизации и роста уровня жизни). Эти тенденции определяют динамику потребления нефти в 2010–2050 гг. (рис. 15). Именно динамика потребления на автотранспорте играет решающую роль для будущего нефтяной отрасли.

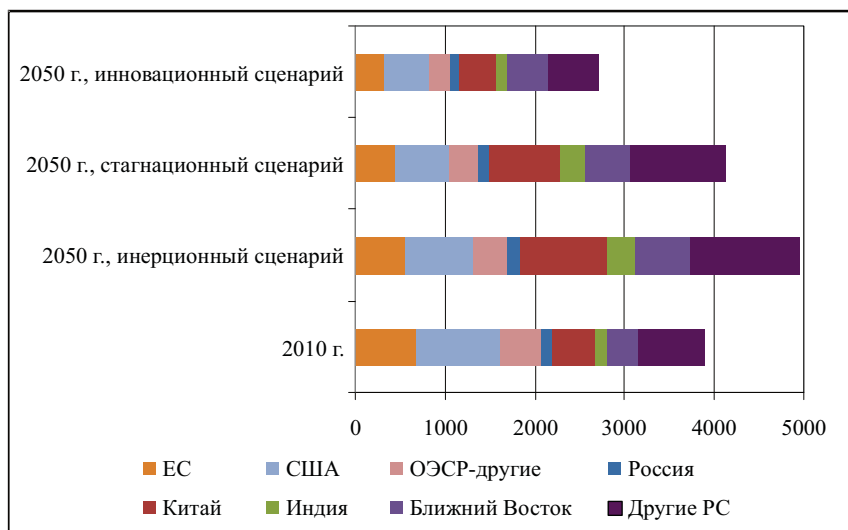


Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 15. Мировое потребление нефти в 2011–2050 гг. (отраслевой разрез), млн т

Абсолютный объем потребления нефти в странах ОЭСР начал сокращаться с 2006 г. из-за стабилизации автомобильного парка при снижении затрат топлива на 100 км пробега и насыщения нефтехимического рынка. Во всех сценариях указанная тенденция продолжится, но разными темпами. Если в инерционном сценарии снижение к 2030 г. по сравнению с 2010 г. составит 10 %, то в стагнационном сценарии – 15 %, а в инновационном сценарии – 21 % (рис. 16).

В развивающихся странах, напротив, до 2030 г. во всех сценариях спрос растет, но его величина варьирует от 69 % за 20 лет в инерционном сценарии до 9 % в инновационном сценарии. После 2030 г. в инерционном сценарии рост спроса продолжится, хотя и существен-



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 16. Мировое потребление нефти в 2011–2050 гг. (региональный разрез), млн т

но меньшими темпами, чем ранее, а в стагнационном и инновационном сценарии сменяется спадом, хотя и более медленным, чем в целом по миру.

Мировое потребление нефти до 2030 г. будет расти в инерционном (20 %), и стагнационном (15 %) сценарии при снижении в инновационном сценарии на 5 %. После 2030 г. в инерционном сценарии рост продолжается (на 9 % к 2050 г.). В стагнационном и инновационном сценариях он сменяется спадом (на 6 и 25 % соответственно).

Большое значение будет иметь рост политических и экологических рисков.

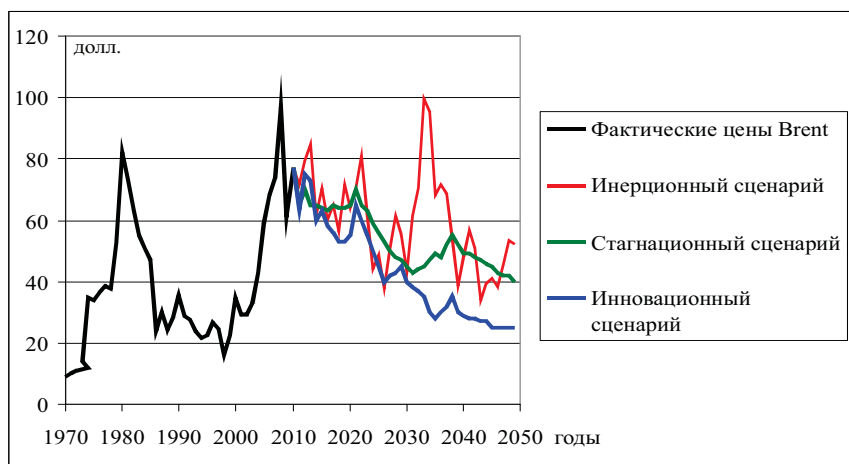
Рост политических рисков в нефтяной отрасли обусловлен противоречиями между национальными нефтяными компаниями (ННК) и международными нефтяными компаниями (МНК), а также процессами приватизации и национализации нефтегазового сектора в развивающихся странах. Дополнительным фактором нестабильности стало появление третьего важного класса компаний – национальных нефтяных компаний стран – нетто-импортеров нефти, особенно китайских (PetroChina, Sinopec, CNOOC), которые становятся конкурентами МНК. Рост геополитических рисков в нефтяной отрасли обусловлен зависимостью мировой

торговли нефти от критических точек (Ормузский пролив, Аденский залив – Красное море – Суэцкий канал, Малаккский и Зондский проливы – Южно-Китайское море), которые находятся в зонах геополитической нестабильности и обеспечивают до 50 % мировых поставок нефти. Международная торговля в 2008 г. обеспечила 67 % мирового потребления нефти, а к 2030 г. эта доля может увеличиться до 80 %.

Масштабная авария на платформе компании British Petroleum на глубоководном шельфе Мексиканского залива резко обострила значимость экологических проблем нефтяной отрасли. В результате аварии в США отменено решение о допуске нефтяных компаний к разработке глубоководных месторождений нефти. В других странах мира также будет ограничена выдача лицензий на работы на глубоководном шельфе, запасы которого составляют до 40–50 млрд т н.э., или до 20–25 % мировых. Последствия аварии негативно скажутся на инвестиционной привлекательности нефтяной отрасли, особенно компании British Petroleum, являющейся одной из лидирующих МНК. Наконец, реакция общественности на аварию приведет к ускорению перехода от нефти и нефтепродуктов к другим видам энергоносителей в развитых странах. Таким образом, эта авария, произошедшая в момент скрытого внутреннего кризиса нефтяной отрасли, может вызвать далеко идущие последствия для нефтяной отрасли.

Что касается ценообразования, то в настоящее время цены на нефть формируются под воздействием преимущественно финансовых факторов на ведущих мировых биржах (Intercontinental Exchange, Лондон, и NYMEX, Нью-Йорк). В инерционном сценарии такая структура сохранится, но в стагнационном сценарии на рынок будут оказывать мощное влияние регулирование и климатическая политика, а в инновационном сценарии роль спекулятивных факторов упадет за счет роста роли технологических факторов.

По прогнозу ИЭС, в инерционном сценарии уровень цен на нефть в долгосрочной перспективе будет иметь тенденцию к медленному снижению, несмотря на периодические взлеты и падения цен, обусловленные циклическим развитием мировой экономики и энергетики (рис. 17). После спада цен до 40 долл. к концу 2020-х гг. ожидаются резкий рост до уровня выше 100 долл. в начале 2030-х гг. и последующий повторный спад. При этом волатильность цен будет весьма высокой.



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 17. Мировые цены на нефть в 1970–2050 гг., долл. 2009 г.

В стагнационном и особенно инновационном сценариях трансформация энергетического рынка в энергосервисный поставит цены на нефть в зависимость от цен на конечные потребительские услуги или технологии. Это приведет к затяжному падению цен на нефть по мере роста межтопливной конкуренции и превращения нефти в «ресурс вчерашнего дня». Особенно быстрым и глубоким оно будет в инновационном сценарии из-за снижения издержек для других источников энергии. К концу 2020-х гг. уровень цен в стагнационном сценарии может составить 60 долл. за баррель, к 2050 г. – 50 долл. (в инновационном сценарии – 40 и 30 долл. соответственно).

3.2. Тренды в газовой отрасли

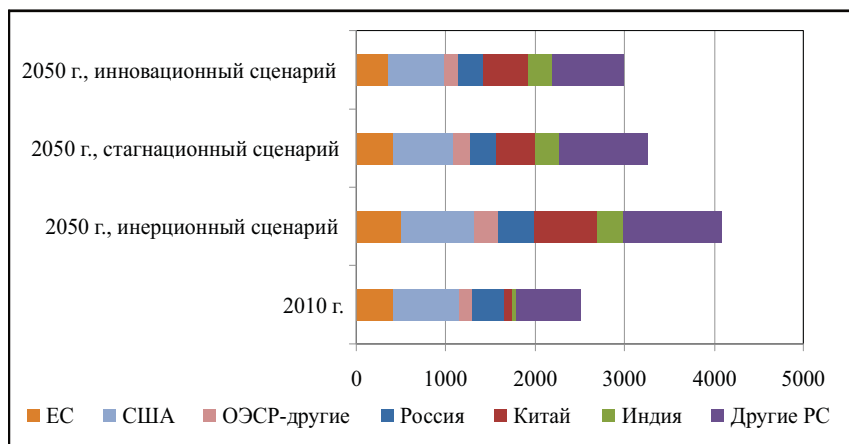
Газовая отрасль обладает наилучшими перспективами среди отраслей топливной энергетики. Основными трендами ее развития являются: 1) опережающий рост потребления газа, особенно на насыщенных рынках Азии, 2) интеграция региональных газовых рынков в мировой рынок за счет развития поставок СПГ, 3) эволюция ценообразования на газовом рынке, 4) переход от «геополитики нефти» к «геополитике газа». Указанные тенденции проявились в 2000-е гг. и будут продолжаться в 2010–2050 годах.

Уровень насыщения газового рынка по странам в настоящее время радикально различается. Темпы роста находятся в жесткой зависимости от достигнутого уровня. В России потребление природного

газа на душу населения составило в 2009 г. 2,92 тыс. м³, в США – 1,92, в ЕС – 0,94, в Восточной Азии – 0,28 (в Китае – 0,07, в Республике Корея – 0,71, в Японии – 0,76 тыс. м³). В перспективе насыщенные рынки будут расти намного медленнее ненасыщенных или даже стагнировать, в то время как ненасыщенные рынки будут показывать быстрый рост. Динамика на региональных рынках позволяет предположить, что уровень насыщения находится между 1–2 тыс. м³ на человека, что говорит о высоком потенциале роста в долгосрочной перспективе.

Абсолютный объем потребления природного газа в странах ОЭСР, несмотря на спад в ходе кризиса 2008–2009 гг., восстановится и продолжит рост, хотя и меньшими темпами (рис. 18). Факторами роста будут усиление ограничений на выбросы CO₂ и рост спроса на тепловую и электрическую энергию. Во всех сценариях указанная тенденция продолжится до 2030 г., но разными темпами. Если в инерционном сценарии рост к 2030 г. по сравнению с 2010 г. составит 80 %, то в стагнационном и инновационном сценариях – 32 %. После 2030 г. в стагнационном сценарии рост продолжится (на 18 %), и в инновационном он начнет снижаться (на 6 и 7 % соответственно).

В развивающихся странах во всех сценариях наблюдается рост спроса, хотя его величина варьирует от 124 % за 20 лет в инерционном сценарии до 64 % в инновационном сценарии. После 2030 г. в инерционном сценарии рост спроса продолжается, хотя и существен-



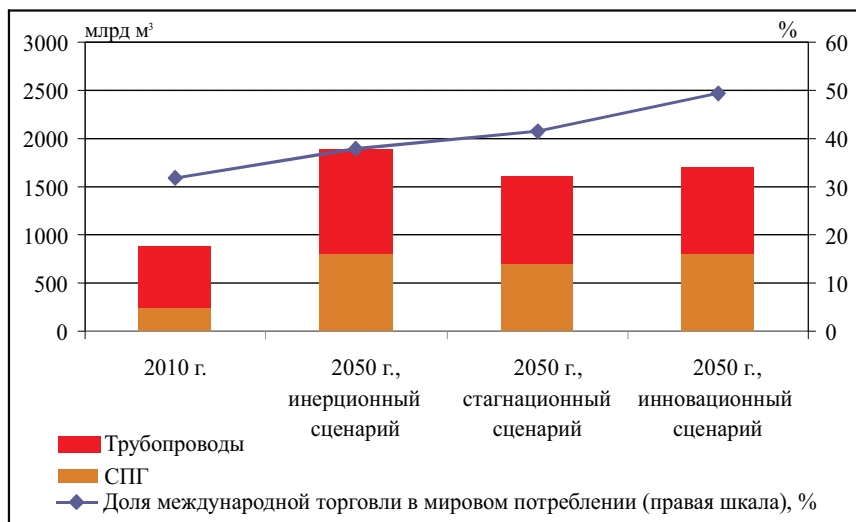
Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 18. Мировое потребление природного газа в 2010–2050 гг. (региональный разрез), млн т н.э.

но меньшими темпами (24 %), чем ранее, а в стагнационном и инновационном сценариях начинается снижение.

Международная торговля в 2010 г. обеспечила только 30 % мирового потребления природного газа по сравнению с 67 % потребления нефти. Международная торговля будет расти как за счет поставок трубопроводного природного газа, так и за счет сжиженного природного газа (СПГ). Рост доли СПГ – долгосрочная тенденция с 1980-х годов. К настоящему времени доля СПГ в международной торговле оставляет 27,7 %. Во всех сценариях рост доли СПГ продолжится. К 2050 г. она составит от 58 % в инерционном сценарии до 50 % в стагнационном (рис. 19). Инновационный сценарий занимает промежуточное положение. Результатом развития поставок СПГ будет постепенная интеграция региональных рынков в мировой рынок природного газа. В перспективе поставки СПГ из стран Ближнего и Среднего Востока могут занять балансирующее положение между атлантическим и тихоокеанским рынками, но переход к полноценному мировому рынку природного газа возможен только после 2030 года.

Интеграция рынка приведет к изменению модели ценообразования. Современный газовый рынок состоит из множества локальных рынков и четырех крупнейших сегментов с различными моделями ценообразования (североамериканский и британский



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 19. Мировая торговля природным газом в 2010–2050 гг.

рынки – спотовый рынок и конкуренция «газ – газ»; *континентальный европейский рынок* – долгосрочные контракты с привязкой к корзине нефтепродуктов и спотовый рынок; *восточноазиатский рынок* – долгосрочные контракты с привязкой к цене на нефть; *российский рынок* – регулируемые тарифы). В мире, по данным МЭА, на поставки с конкуренцией «газ – газ» приходится 33 % поставок, на поставки с привязкой к ценам на нефть и нефтепродукты – 20 %, на поставки по регулируемым государством ценам – 38 %, на вне-рыночные поставки (двусторонняя монополия) – 9 %.

В инерционном сценарии главным трендом до 2030 г. будет сдвиг к конкуренции «газ – газ», особенно на континентальном европейском рынке (за счет контрактов с привязкой к ценам на нефть) и на восточноазиатском рынке. В стагнационном и особенно инновационном сценариях возникнет принципиально новая модель ценообразования с привязкой к ценам на конечные потребительские услуги. Она будет распространяться в первую очередь в развитых странах и при этом может формально развиваться при поддержании конкурентного рынка газа, хотя по существу цены на нем будут определяться конечным рынком потребительских услуг и технологий.

По мере снижения роли нефтяной отрасли и роста роли газовой отрасли «геополитика нефти» будет сменяться «геополитикой газа». Предпосылками «геополитики газа» будут высокая концентрация запасов и добычи природного газа в регионах-лидерах (Ближний и Средний Восток – 30 %, Россия – 45 % и Центральная Азия – 15 %), а также рост международной торговли и доминирование ограниченного числа поставщиков и направлений поставок. Для транзита СПГ, как и для поставок нефти, особое значение приобретут критические точки, через которые проходит большая часть транспортируемых в мире углеводородов: Ормузский пролив, Аденский залив – Красное море – Суэцкий канал, Малаккский и Зондский проливы и Южно-Китайское море. В транзите трубопроводного газа будет продолжаться «война трубопроводов», особенно вокруг стран Центральной Азии, что приведет к реализации ряда конкурирующих проектов сомнительной экономической оправданности.

3.3. Тренды в угольной отрасли

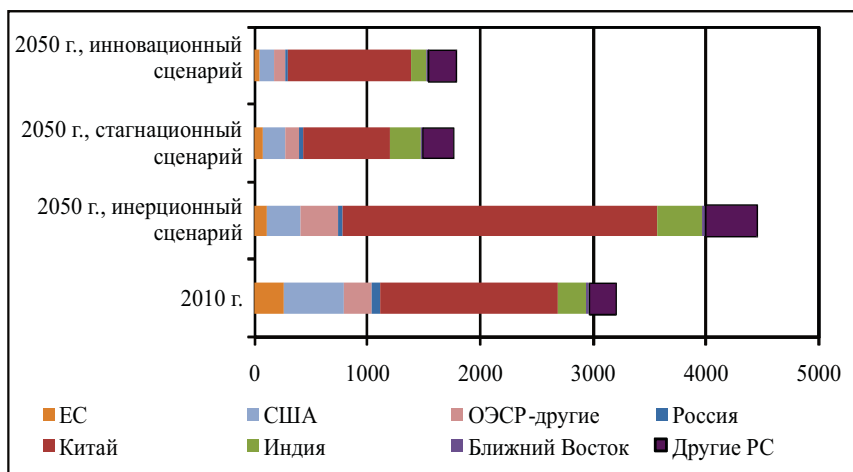
Угольная отрасль в отличие от нефтяной и газовой практически не испытывает ресурсных проблем, но сталкивается с рядом технологических и экологических ограничений и рисков. Ключевыми

трендами развития угольной отрасли в 2010–2050 гг. будут: 1) опережающий рост угольной энергетики в Индии и в Китае, 2) рост международной торговли углем, 3) развитие новых технологий использования угля, 4) изменение экономических параметров угольных электростанций, 5) воздействие климатической политики на угольную энергетику.

Специфика угольной отрасли по сравнению с нефтяной и газовой состоит в высокой степени совпадения географического распределения запасов, добычи и потребления угля. Но экологические последствия сжигания угля уже в 1970-х гг. заставили ограничить развитие отрасли. В 1980-х гг. в США, Европе и СССР началась «газовая пауза». В результате к 2009 г. на долю Китая приходилось 47 % мирового потребления угля, в 2000-е гг. – 90 % прироста при снижении потребления в развитых странах. В перспективе потребление угля в Китае неизбежно замедлится из-за торможения роста энергопотребления, тяжелейшей экологической ситуации во многих крупных городах из-за сжигания угля на низкоэффективных котельных, дефицита угля (Китай уже стал нетто-импортером угля), роста доступности других источников энергии (ВИЭ, газ, атомная энергетика). В то же время на смену «китайскому фактору» может прийти «индийский фактор»: потребление угля в Индии составляет только 245 млн т, при этом строится 50 ГВт мощностей угольной энергетики.

В 2010–2050 гг. динамика угольной энергетики зависит от технологических факторов (рис. 20). В инерционном сценарии на основе технологий чистого угля она переживает значительный рост (на 41 % к 2030 г.). В стагнационном сценарии в силу более жесткой климатической политики она начинает сокращаться (к 2030 г. – на 2 %, к 2050 г. – на 45 %). В инновационном сценарии спад начинается позже, но происходит быстрее (к 2030 г. – рост на 8 %, к 2050 г. – спад на 47 %).

Сравнительно низкая транспортабельность, относительная дешевизна и совпадение районов добычи и потребления угля ограничивают развитие международной торговли. В 2010 г. она обеспечила только 10 % мирового потребления (400 млн т н.э.). Крупнейшими экспортёрами являются Австралия, ЮАР, Индонезия, крупнейшими импортёрами – Япония и Республика Корея. В инерционном сценарии при быстром росте угольной энергетики самодостаточность



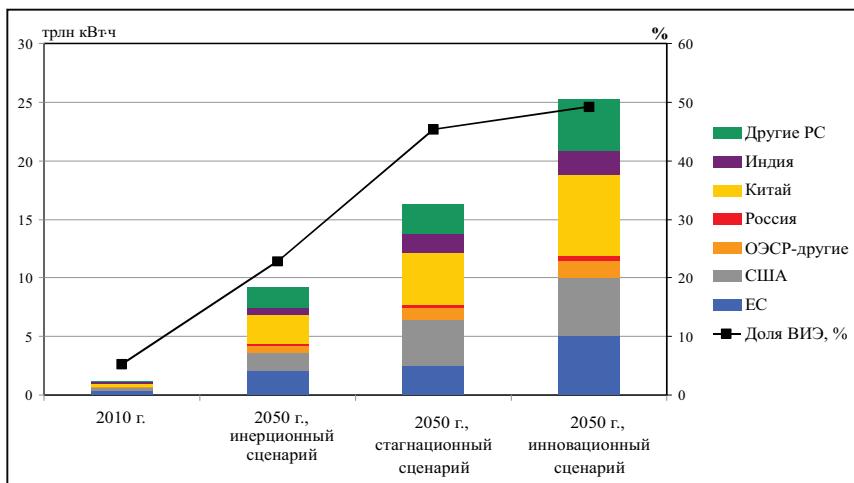
Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 20. Мировое потребление угля в 2011–2050 гг. (региональный разрез), млн т н.э.

по добыче угля в Китае и Индии не сможет быть обеспечена. К 2030 г. межрегиональная торговля углем возрастет на 80 % (с 400 до 700 млн т н.э., или 11 % мирового потребления). В стагнационном и инновационном сценариях рост потребления угля до 2030 г. будет медленным, а после 2030 г. сменится спадом. Рост в районах дешевой угледобычи будет способствовать консолидации отрасли.

3.4. Тренды в возобновляемой энергетике

В 2000-е гг. возобновляемая энергетика развивалась с опережением большинства прогнозов и пережила мощный бум. Общая мощность электростанций на ВИЭ достигла 367 ГВт (2000 г. – 49 ГВт), или 8 % мировых генерирующих мощностей. Доля ВИЭ в глобальном приросте мощностей электроэнергетики возросла с 6 % в 2004–2005 гг. до 23 % в 2008 г. и 40 % в 2009 году. На региональном уровне до 40 % инвестиций осуществлялись в Европе, до 30 % – в Северной Америке [15]. Китай занимает одно из лидирующих мест в большинстве отраслей возобновляемой энергетики и реализуют амбициозные программы их развития. В долгосрочной перспективе максимальные темпы роста ВИЭ ожидаются в стагнационном сценарии, близкие к ним – в инновационном сценарии, существенно меньшие – в инерционном сценарии (рис. 21).

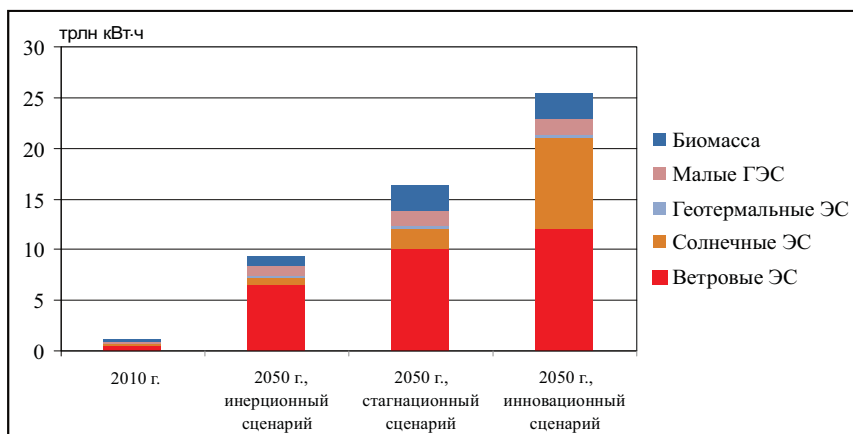


Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 21. Мировое производство энергии ВИЭ в 2010–2050 гг. (региональный разрез)

В 2010–2050 гг. в возобновляемой энергетике будет наблюдаться ряд качественных изменений, а именно: 1) опережающий рост возобновляемой энергетики, 2) адаптация энергетических систем к высокой доле ВИЭ и их интеграция в энергетический рынок. До 2015 г. динамика роста задана современными трендами. Суммарная мировая мощность ветроустановок достигнет 500–600 ГВт, преимущественно за счет Китая, солнечных электростанций – 150 ГВт. Возникнут крупнейшие компании по производству оборудования для солнечной и ветровой энергетики. Основной прирост в инновационном сценарии по сравнению с инерционным обусловлен преимущественно развивающимися странами и в солнечной энергетике, в то время как рост в развитых странах и в ветровой энергетике наблюдается и в инерционном сценарии (рис. 22).

Увеличение абсолютного прироста мощностей и выработки электроэнергии будет сопровождаться снижением относительных темпов роста. Это будет обусловлено рядом причин. Во-первых, история мировой энергетики показывает, что при появлении нового источника энергии стадия его быстрого роста через 30–50 лет сменяется стадией насыщения, когда его доля в ТЭБ стабилизируется. Доля предшествовавших источников энергии сохраняется, но они не исчезают, а занимают определенную нишу. Во-вторых, по мере



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 22. Мировое производство энергии ВИЭ в 2010–2050 гг. (отраслевой разрез)

роста абсолютных масштабов отрасли поддерживать сверхвысокие темпы роста становится невозможно в силу нехватки строительных мощностей, оборудования и пр. В-третьих, инерция созданных основных фондов делает нерациональным вывод из эксплуатации уже существующего генерирующего оборудования, что будет ограничивать масштабы изменений. В-четвертых, ключевой проблемой является нестабильность выработки ветровой и солнечной энергетики и несовпадение пиков генерации с пиками нагрузки. Эта проблема может быть решена развитием систем накопления энергии. Кроме того, она естественным образом будет смягчаться по мере роста масштабов возобновляемой энергетики и ее географического распространения. В-пятых, будут сохраняться экономические ограничения на использование ВИЭ во многих регионах мира.

Развитие ВИЭ в 2000-е гг. получало значительную государственную поддержку во многих странах мира, которая стала важным фактором ее роста. С 2000 по 2009 г. число стран, практикующих различные формы поддержки ВИЭ, возросло с 40 до 60, а объем поддержки составлял, по различным оценкам, 100–150 млрд долл. в год. В перспективе роль государственных стимулов развития ВИЭ станет сокращаться по мере перехода отрасли в стадию «зрелости». Будет происходить переход от прямого финансирования ВИЭ (субсидии, возврат налогов, гранты, кредиты и пр.) к косвенному институциональному регулированию через правила работы энергосистемы.

3.5. Тренды в атомной энергетике

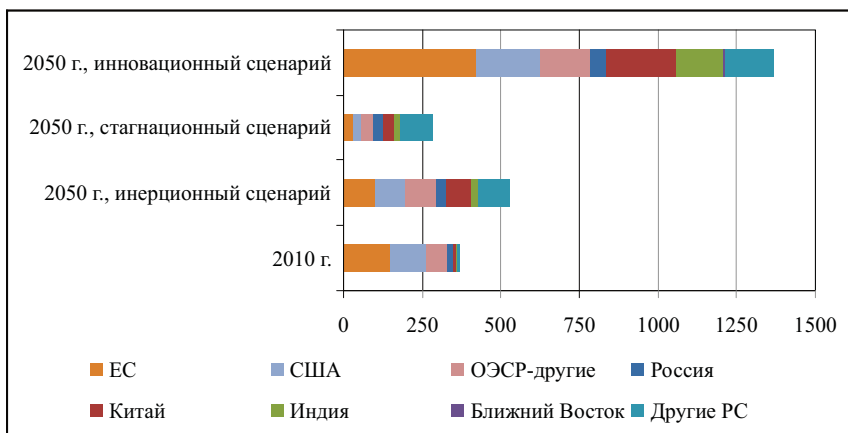
Основные тенденции развития атомной отрасли достаточно противоречивы и содержат важные неопределенности, а именно: 1) потенциал «атомного ренессанса», 2) проблемы производственной и технологической базы атомной энергетики, 3) конкурентоспособность атомной энергетики.

В 2000-е гг. строительство АЭС, резко замедлившееся в 1990-е гг. вследствие низких цен на энергию и последствий аварии на Чернобыльской АЭС, значительно ускорилось. В настоящее время в мире строится 53 реактора в 13 странах, еще около 130 реакторов проектируются. В 2010 г. введено в строй 11 атомных реакторов, в 2011 г. ожидается 9, в 2012 г. – 10, в 2013 г. – 12, в 2014 г. – 14. Дальнейшее развитие зависит от сценария развития мировой энергетики, а конкретнее – от программ строительства АЭС в лидирующих ядерных державах.

Значимое воздействие на динамику мощностей окажет вывод из эксплуатации реакторов, построенных в 1960–1980-е гг. и достигших проектного срока эксплуатации. Средний срок службы действующих реакторов растет и достиг в 2010 г. 25 лет. Эта проблема наиболее актуальна в Европе, США и России. Она решается путем продления сроков эксплуатации за пределы проектного и путем повышения проектного срока эксплуатации новых АЭС. До 2030 г. вывод мощностей составит как минимум 180 ГВт.

Авария на АЭС «Фукусима», итоги которой к настоящему моменту неясны, приведет к значимому торможению программ строительства АЭС в развивающихся странах и ускоренному выводу из эксплуатации старых энергоблоков в Европе. Отказ Европейского Союза и других значимых ядерных держав от атомной энергетики представляется маловероятным, но перспективы роста отрасли сильно подорваны. Очевидно, что без перехода атомной энергетики на инновационный путь развития, создания новых типов реакторов и замкнутого ядерного топливного цикла (рис. 23) она будет стагнировать.

В инерционном сценарии мощности АЭС в мире растут медленно за счет вывода из эксплуатации энергоблоков, выработавших свой ресурс (к 2030 г. – 442 ГВт, к 2050 г. – 527 ГВт). В стагнационном сценарии мощности АЭС быстро снижаются к 2030 г. – 291 ГВт, к 2050 г. – 185 ГВт. Только в инновационном сценарии удастся реализовать инновационный проект развития мировой



Источник: расчеты ИЭС.

**Рис. 23 . Мировые мощности АЭС в 2010–2050 гг.
(региональный разрез), ГВт**

атомной энергетики с созданием реакторов на быстрых нейтронах и замкнутого ядерного топливного цикла, что вызывает ее быстрый рост (к 2030 г. – 788 ГВт, к 2050 г. – 1367 ГВт).

Фактическая стоимость строительства АЭС в 2000-е гг. составляла порядка 2500 долл. за кВт электрической мощности. Ожидается постепенный переход на реакторы третьего, а затем и четвертого поколения. Первые реакторы третьего поколения уже строятся (американо-японские реакторы AP-1000 – в Китае, европейские PWR – в Финляндии). Реакторы четвертого поколения могут быть разработаны в 2010–2020-х гг., а с 2030 г. начнется их активное строительство. Только в инновационном сценарии удастся реализовать преимущества серийного строительства АЭС третьего и четвертого поколений и снижения капитальных затрат. За счет топливного цикла удастся снизить затраты на работу с ОЯТ, которые из отходов превращаются в ценный ресурс для производства нового ядерного топлива.

К числу важнейших проблем существующих *реакторов на быстрых нейтронах* относятся низкая надежность и дороговизна строительства (на 20–24 % дороже обычных реакторов). Но их строительство позволяет использовать уран-238 (99,3 % природных запасов), в то время как тепловые реакторы используют только уран-235 (0,7 % запасов). Создание реакторов на быстрых нейтронах имеет смысл только в случае организации замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). В России, занимающей в настоящее время лиди-

рующие позиции в разработке реакторов на быстрых нейтронах, строится блок БН-800. Работы в этом направлении начаты или возобновлены в Индии, Китае, Франции, Республике Коре и Японии.

Фундаментальной проблемой атомной энергетики является необходимость перехода к серийному строительству энергоблоков и производству оборудования. В силу высокой единичной мощности энергоблоков (как правило, 1 ГВт) их количество невелико. До сих пор реакторы не стандартизованы полностью, поэтому повышаются издержки, снижается надежность, слабо проявляется эффект обучения (снижение издержек по мере роста мощностей). Для будущего развития мировой атомной энергетики решающим является переход на новый технологический уровень, который позволит реализовать фундаментальное преимущество атомной энергии – независимость от внешних поставок сырья и природных условий. В случае консервации современного технологического уровня отрасль будет стагнировать или сокращаться.

3.6. Тренды в электроэнергетике

Электроэнергетика в 2010–2050 гг. будет центральным звеном мировой энергетики. В электроэнергетике будет наблюдаться ряд качественных изменений, а именно: 1) опережающий рост электроэнергетики и ее сдвиг в развивающиеся страны, 2) перестройка корпоративной и рыночной структуры отрасли, 3) интеграция электроэнергетических систем крупных регионов мира. Качественные изменения будут выражены в развитых странах, основная часть количественного прироста – сосредоточена в развивающихся странах. В 2010–2050 гг. в электроэнергетике произойдут глубокие сдвиги в технологиях генерации электроэнергии и организации электроэнергетических систем.

Технологии генерации электроэнергии. Технологии генерации электроэнергии можно разделить на две группы: технологии, достигшие зрелости (для них ожидается инерционное развитие с некоторым улучшением экономических показателей), и технологии, находящиеся в стадии формирования (для них ожидаются быстрый прогресс технико-экономических показателей, внедрение новых технологических решений). К технологиям, достигшим зрелости, относятся технологии газовой, ветровой, био- и гидро- электроэнергетики, а также тепловых реакторов в атомной энергетике (табл. 5).

Таблица 5. Основные инновации в сфере конечного потребления

Зрелые технологии	Формирующиеся технологии
<i>Производство электроэнергии</i>	
Газовая топливная генерация	Новые технологии угольной генерации
Ветровые ЭС	Фотовольтаика
Гидроэнергетика	Биоэнергетика
Реакторы на тепловых нейтронах	Реакторы на быстрых нейтронах
<i>Передача электроэнергии</i>	
Комплексные системы передачи	Сверхпроводники и накопители
Распределенная генерация	«Умная» энергосистема

Источник: ИЭС.

К технологиям, находящимся в стадии формирования, относятся реакторы на быстрых нейтронах, новые технологии угольной электроэнергетики, солнечная фотовольтаика. Перспективы технологического развития угольной отрасли связаны с энергоблоками со сверхкритическими и суперсверхкритическими параметрами пара, новыми способами сжигания угля (в кипящем слое, с внутрицикловой газификацией), технологиями газификации угля. Перспективы технологического развития *солнечной фотовольтаики* связаны с тонкопленочной, мультиузловой технологиями.

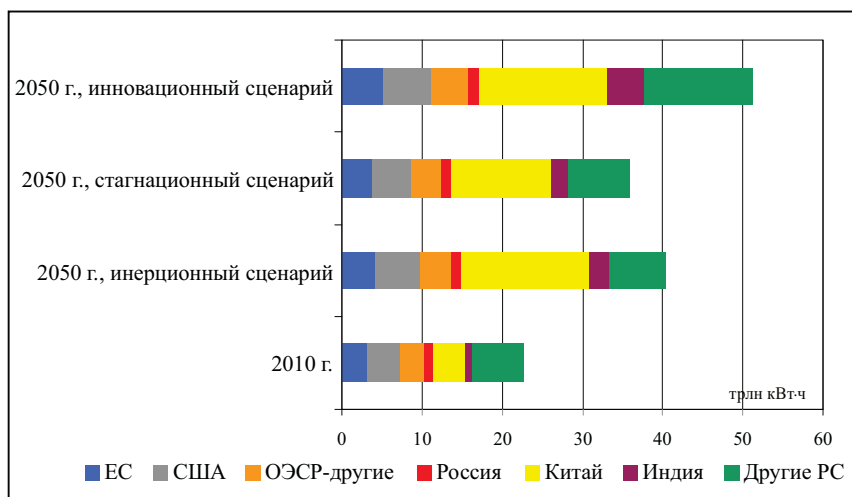
Технологические тенденции развития электроэнергетических систем. Переход к энергетическим системам нового поколения будет осуществляться по четырем направлениям: 1) создание систем управления энергосистемой («умная» энергосистема), 2) развитие технологий дальнего транспорта электроэнергии, 3) развитие технологий накопления электроэнергии в энергосистеме, 4) развитие распределенной генерации. *«Умная» энергосистема* является обобщением развиваемых в настоящее время технологий «умных» сетей (Smart Grids) и предполагает управление спросом на энергию. В США и Европейском союзе развитие «умных» сетей на государственном уровне признано ключевой задачей [18, 20], в развитие соответствующих систем инвестируется 30–50 млрд долл. в год. Развитие *распределенной генерации* приведет к формированию «вир-

туальных электростанций» – групп распределенных генераторов электроэнергии, находящихся под единым управлением. Для этого необходимо решить как технологические проблемы (переход от асимметричных сетей к симметричным), так и организационные (порядок оплаты энергии, порядок управления энергосистемами). Это приведет к трансформации энергетического рынка из рынка товаров в рынок сначала услуг, а затем и технологий. *Технологии накопления электроэнергии* в энергосистеме необходимы для повышения эффективности использования мощностей и повышения надежности энергоснабжения. Косвенные способы накопления электроэнергии на уровне энергосистемы могут быть реализованы путем создания ГАЭС и маховых накопителей. *Для развития передачи электроэнергии* важны технологии ЛЭП постоянного тока (HVDC), а также использование сверхпроводников. В совокупности указанные выше тренды сводятся к созданию интеллектуальных Единых энергетических систем нового поколения (ЕЭС 2.0) с интеллектуальным управлением от производства до конечного потребления.

На основе этих технологических тенденций в 2010–2050 гг. продолжится ключевой тренд опережающего роста потребления электроэнергии по отношению к конечному потреблению энергии в целом. В 2030–2050 гг. развивающиеся страны продолжают догонять развитые страны, но разрыв в темпах роста будет уже не столь велик. В результате доля развивающихся стран в мировом потреблении электроэнергии возрастет с 48 % в настоящее время до 52–56 % к 2030 г. и 56–69 % к 2050 г. (рис. 24).

Минимальный рост потребления электроэнергии ожидается в стагнационном сценарии, максимальный – в инновационном. Ожидаемый прирост крайне неравномерен по странам и регионам мира. Основная часть прироста генерирующих мощностей, как и в 2000-е гг., приходится на развивающиеся страны. Так, в Китае строительство генерирующих мощностей велось в 2000-е гг. очень высокими темпами (500 ГВт за 10 лет). Как ожидается, в 2010-е гг. будет введено еще до 300 ГВт мощностей, что позволит обеспечить растущий спрос.

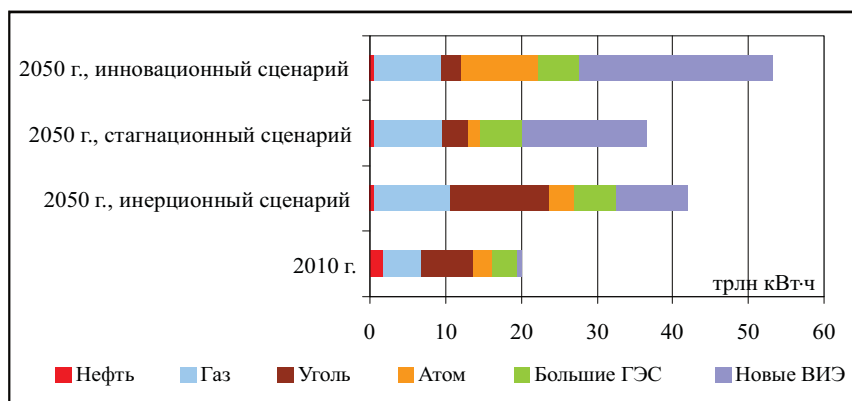
Структура генерирующих мощностей в 2010–2050 гг. претерпит существенные изменения. Доля ВИЭ возрастает до 22 % в инерционном и 45–48 % – в стагнационном и инновационном сценариях (рис. 25). В инерционном сценарии возрастает значимость угольной энергетики, а в инновационном – АЭС.



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 24. Мировое потребление электроэнергии (региональный разрез), трлн кВт·ч

Опережающий рост мировой электроэнергетики и сдвиг электроэнергетики в развивающиеся страны создаст целый комплекс проблем. Во-первых, потребуются масштабное строительство новых генерирующих мощностей. В зависимости от сценария мощности мировой электроэнергетики должны возрасти в 2,0–2,8 раза. Максимальный уровень инвестиций требуется в стагнационном сценарии из-за быстрого роста мощностей возобновляемой энергетики при ее



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 25. Структура мирового производства электроэнергии (отраслевой аспект), трлн кВт·ч

сравнительно медленном удешевлении. Оптимизация нагрузки на генерирующие мощности за счет создания «умных» сетей позволит снизить потребность в мощности.

Международная торговля в 2008 г. обеспечила только 3 % мирового потребления электроэнергии, или 500 млрд кВт·ч. Ключевым последствием развития технологий дальнего транспорта электроэнергии может стать интеграция электроэнергетических систем крупных регионов мира после 2030 года. В инерционном и стагнационном сценариях этот тренд будет выражен слабо и коснется только развития торговли электроэнергией между отдельными странами, хотя ее масштабы существенно возрастут (до 1500 млрд кВт·ч). В инновационном сценарии после 2030 г. ожидается формирование единых энергетических систем Европы, Восточной Азии, Северной Америки, России и сопредельных стран, а также связей между ними. В перспективе 2050 г. указанный тренд приведет к формированию основ единой электроэнергетической системы Евразии, а мировая торговля достигнет 5000 млрд кВт·ч.

Развитие международной торговли электроэнергией требует решения не только технических, но и организационных (порядок диспетчеризации), экономических (порядок оплаты и создание международных рынков электроэнергии) и политических проблем. Рынок электроэнергии отличается наименьшей степенью интеграции и наибольшим разнообразием рыночных моделей по сравнению с другими энергетическими рынками. В стагнационном сценарии он будет эволюционировать в направлении рынка не товаров, а услуг. В инновационном сценарии в результате формирования электроэнергетических систем нового поколения он трансформируется в рынок технологий.

РАЗДЕЛ 4

СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

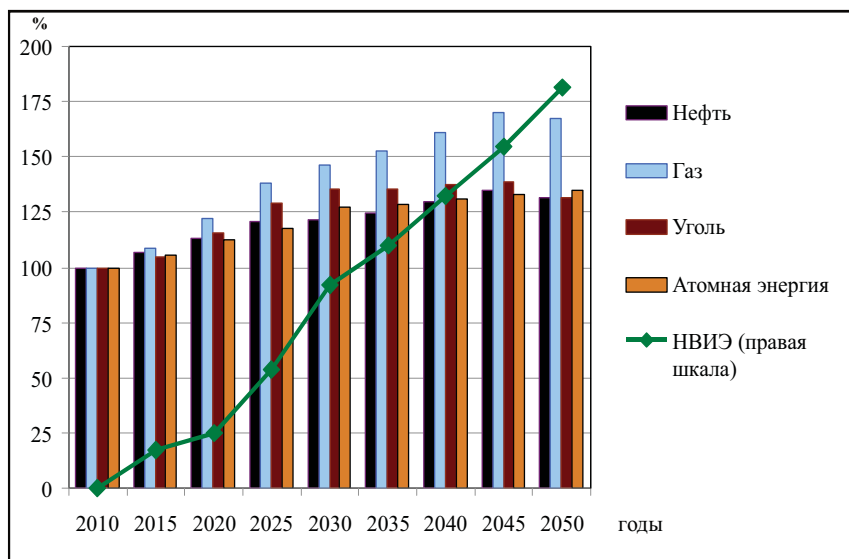
Сценарии развития мировой энергетики рассматриваются нами как «точки сборки» всей совокупности технологических, энергетических, социально-экономических и политических трендов. Поэтому сценарии обладают определенной целостностью, и их специальное описание позволяет выявить именно взаимосвязи между отраслями, которые ускользают при отраслевом анализе.

4.1. Инерционный (углеводородный) сценарий

Инерционный сценарий предполагает, что структура мировой энергетики в целом изменится слабо. Быстрый рост мировой экономики, основная часть которого придется на развивающиеся страны, не будет компенсироваться повышением энергоэффективности. Потребление всех видов ископаемого топлива продолжит расти.

Основной предпосылкой инерционного сценария является прохождение развивающимися странами материалоемкого этапа индустриализации с быстрым ростом базовых отраслей промышленности и созданием инфраструктуры, а также повышением уровня жизни. Этот процесс продолжается в Китае, ускоряется в Индии, не завершен в Латинской Америке и Юго-Восточной Азии и только начинается в Африке. Фронтальный рост спроса на энергоресурсы всех видов в большинстве развивающихся стран приведет к резкому росту напряженности топливно-энергетического баланса как по миру в целом, так и по его регионам (рис. 26).

Основные изменения в мировой энергетике будут геополитическими, а не технологическими. Сложится принципиально новая структура мировой торговли энергоносителями. Развивающиеся страны станут крупнейшими импортерами всех видов ТЭР, при этом их зависимость от импорта будет даже выше уровня развитых стран. К 2030 г. не развитые, а именно развивающиеся страны Азии будут наиболее зависимыми от мирового энергетического рынка. Именно эти страны будут более всех заинтересованы в его стабильности и приемлемом уровне цен. Основные риски мировой энергетики будут связаны с тремя факторами: 1) нестабильность и вооруженные конфликты на Ближнем Востоке и в Центральной Азии, 2) угрозы морским путям транспортировки энергоносителей со сто-



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 26. Динамика роста потребления по видам первичной энергии в инерционном сценарии, 2010 г. = 100 %

роны пиратства, терроризма, локальных конфликтов, 3) рост противоречий между государствами и борьба за доступ к энергетическим ресурсам.

Наиболее напряженное положение сложится в *нефтяной отрасли*, где растущий спрос столкнется с существенными ограничениями со стороны предложения. С одной стороны, усилится тенденция к концентрации добычи нефти на Ближнем Востоке, при этом зависимость большинства стран и регионов от импорта нефти будет возрастать. С другой стороны, попытки повысить уровень энергетической безопасности приведут к освоению ряда месторождений со сложными условиями добычи (Арктика, глубоководный шельф, тяжелые нефти и пр.). В совокупности эти два процесса вызовут рост предельных издержек и, соответственно, цен, а также снижение уровня энергетической безопасности. «Геополитика нефти» по-прежнему будет играть чрезвычайно значимую роль. Из-за этого существенно усилятся государственное регулирование отрасли и роль национальных нефтяных компаний. Ожидается развитие новых центров биржевой торговли в Азии, вблизи центров роста спроса.

Схожие процессы будут происходить в *мировой газовой промышленности*. Так как в настоящее время отрасль отличается низкой сте-

пению международной интеграции (мировая торговля природным газом составляет только 30 % от потребления по сравнению с 67 % для нефти), изменения в отрасли будут происходить в два этапа. До 2030 г. на фоне интеграции региональных рынков между собой будет продолжаться постепенное формирование контуров мирового рынка, станет расти роль биржевой торговли. После 2030 г. растущий спрос в сочетании с недостаточным предложением приведет к росту предельных и средних издержек, сдвигу добычи в новые районы, росту напряженности газового баланса и международных противоречий в этой сфере. В результате «геополитика газа» станет для многих стран не менее важной, чем «геополитика нефти».

В *угольной отрасли*, как и в 2000-е гг., основная часть роста будет сосредоточена в Китае. На фоне роста спроса Китай и Индия могут перейти к импорту угля, что станет ключевым фактором роста международной торговли, консолидации отрасли, развития биржевой торговли, особенно в Азии. При этом будет происходить технологическая модернизация угольной электроэнергетики за счет наиболее современных технологий.

В *атомной энергетике*, как и в угольной, ожидается инерционный рост в 1,35 раза к 2050 г. в рамках существующей технологической основы (реакторы 2+ и 3-го поколения на тепловых нейтронах). В результате потребности в уране – быстро расти, вторичные источники урана – постепенно истощаться, а урановый баланс окажется весьма напряженным, усилится роль «геополитики урана».

Производство первичной энергии ВИЭ возрастет к 2030 г. по сравнению с уровнем 2010 г. в 5 раз, а к 2050 г. – в 9 раз (без учета биомассы и большой гидроэнергетики). Рост ВИЭ до 2015 г. будет происходить главным образом за счет ГЭС и береговых ВЭУ. В 2015–2030 гг. к лидерам роста добавятся биомасса и морские ВЭУ. Несмотря на опережающие темпы роста, возобновляемая энергетика к 2030 г. будет составлять не более 7 % мирового потребления первичной энергии, а к 2050 г. – 10 %.

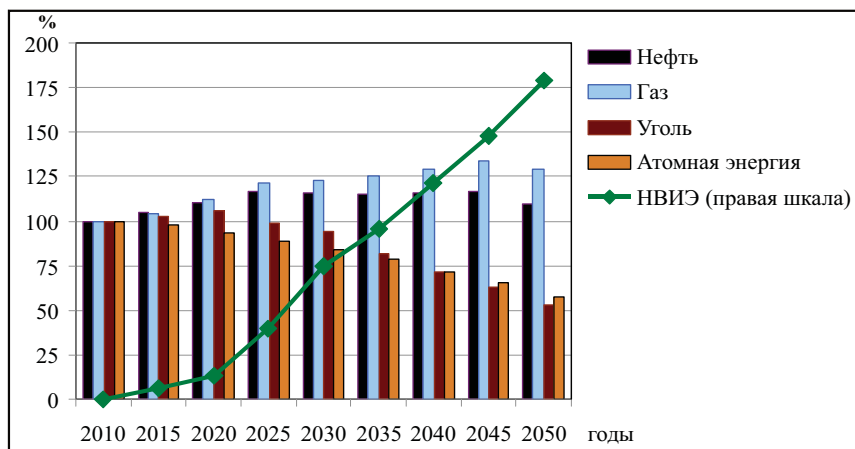
Производство электроэнергии на угольных электростанциях к 2030 г. вырастет в 2,05 раза и составит 35,6 % производства электроэнергии, на газовых электростанциях – в 1,92 раза до 23,7 %, ВИЭ – в 5,54 раза до 16,0 %. Максимальные темпы покажут ВИЭ, угольная и газовая генерация, а минимальные – мазутная. В инерционном сценарии будут реализованы отдельные элементы «умных» сетей,

относящиеся к управлению сетевыми и генерирующими мощностями. Рост эффективности передачи электроэнергии будет достаточен для оптимизации существующих энергосистем (Европа, Россия, США, Китай), но не для перестройки мировой электроэнергетики.

4.2. Стагнационный (экологический) сценарий

Основной предпосылкой стагнационного сценария является трансфер существующих технологий в развивающиеся страны с целью снижения энергоемкости процесса индустриализации. Замедленный рост мировой экономики снижает общий спрос на энергию. Тем не менее нейтрализовать потенциал роста спроса удастся только частично (рис. 27). Сложится сложная система технологического регулирования мировой энергетики, включающая глобальные и локальные климатические соглашения, климатические налоговые и таможенные тарифы, технологические стандарты.

Потребление нефти продолжит свой рост, но оно будет существенно более медленным, чем в инерционном сценарии (на 10 % к 2010 г. по сравнению с 30 %), что приведет к меньшей концентрации добычи на Ближнем Востоке, повышенному уровню самодостаточности ряда регионов-импортеров, меньшей геополитической напряженности, эволюции от биржевого ценообразования к большей роли фундаментальных факторов. Интеграция мирового рынка *природ-*



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 27. Динамика роста потребления по видам первичной энергии в стагнационном сценарии, 2010 г. = 100 %

ного газа несколько замедлится, причем в долгосрочном плане это будет «рынок покупателя». Развитие торговли СПГ сделает газовый рынок значительно более конкурентным, чем сейчас. «Геополитика газа» будет играть гораздо меньшую роль, чем в инерционном сценарии.

В стагнационном сценарии мировое *потребление угля* существенно упадет. До 2030 г. отрасль будет расти очень медленно, а затем начнется быстрый спад. Он будет обусловлен экологическими (выбросы CO_2 , локальное загрязнение), экономическими (появление альтернативных видов энергетики, особенно ВИЭ), социальными (низкая производительность труда, аварийность) причинами.

В *атомной энергетике* в стагнационном сценарии ожидается нисходящий тренд, отрасль сократится практически в 2 раза. Предпосылками для этого будут высокая стоимость строительства, неудачи в создании принципиально новых реакторов, сохраняющиеся проблемы радиационной безопасности. Главным фактором явится конкуренция со стороны газовой генерации и возобновляемой энергетики.

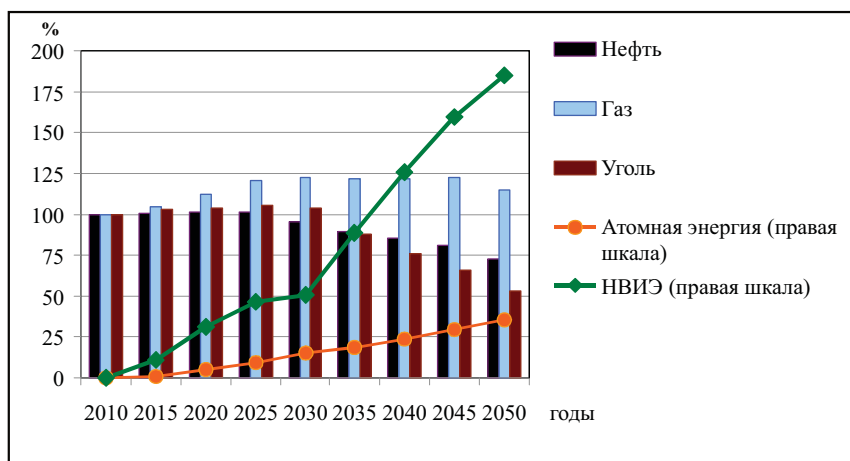
Производство первичной энергии ВИЭ возрастет к 2030 г. по сравнению с уровнем 2010 г. в 7 раз, а к 2050 г. – в 15 раз (без учета биомассы и большой гидроэнергетики). Доля ВИЭ к 2050 г. достигнет 21 %. В структуре возобновляемой энергетики в 2030 г. будет преобладать ветровая энергетика (72 %), но к 2050 г. ее доля снизится до 60 % за счет опережающего роста производства электроэнергии из биомассы и солнечной энергетики. К 2050 г. солнечная энергетика будет коммерчески эффективна. Резко расширится ниша малой гидроэнергетики, геотермальной энергии и использования биомассы.

В стагнационном сценарии рост *мировой электроэнергетики* будет практически таким же, как и в инерционном сценарии. Снижение темпов роста экономики и активизация энергосбережения компенсируются ускоренной электрификацией. Производство электроэнергии на газовых электростанциях к 2030 г. вырастет в 1,65 раза и составит 29,0 % общего производства электроэнергии, производство электроэнергии ВИЭ – в 13,1 раза до 26,0 % (без гидроэнергетики). Производство электроэнергии на атомных электростанциях упадет на 18 %, на угольных электростанциях – на 11 до 20,5 %, на мазутных электростанциях – на 51 до 2,7 %. В стагнационном сценарии будут реализованы основные элементы «умных» сетей. Распространятся технологии регулирования профиля нагрузки на электроэнергетические системы.

Структура мирового автопарка к 2050 г. претерпит существенные изменения. Главным трендом будет развитие всех существующих альтернатив нефтепродуктам и двигателю внутреннего сгорания, особенно гибридных автомобилей. Парк электромобилей и гибридов к 2030 г. достигнет 8 % мирового автопарка, а к 2050 г. – до 20 %. Гибридные автомобили к 2030 г. составят 11 % мирового выпуска автомобилей, к 2050 г. – 52 %. Собственно электромобили получают ограниченное распространение. К 2050 г. их доля в составе автопарка не превысит 5 %, в производстве – 9 %. Доля биотоплива к 2030 г. достигнет 6 % мирового рынка моторного топлива, а к 2050 г. – 14 %.

4.3. Инновационный (возобновляемо-атомный) сценарий

Инновационный сценарий предполагает радикальные изменения в мировой энергетике и экономике. Основной предпосылкой инновационного сценария является переход к новой фазе социально-экономического и технологического развития в лидирующих странах, что окажет индуктивное влияние и на процесс индустриализации развивающихся стран, делая его значительно менее энергоемким. Потребление нефти до 2020 г. стагнирует, а затем начинает снижаться, причем после 2030 г. этот процесс ускоряется, и к 2050 г. снижение достигает почти 30 % от современного уровня (рис. 28).



Источник: расчеты ИЭС.

Рис. 28. Динамика роста потребления по видам первичной энергии в инновационном сценарии, 2010 г. = 100 %

Структура производства автомобилей и мирового автопарка к 2050 г. претерпит радикальные изменения. Главным трендом будет развитие гибридов и электромобилей. Парк электромобилей и гибридов к 2030 г. достигнет 14 % мирового автопарка, а к 2050 г. – 80 %, будет развернута необходимая инфраструктура. Доля электромобилей к 2050 г. достигнет 10 % производства, а выпуск автомобилей с двигателем внутреннего сгорания почти прекратится. Спад *потребления нефти* и перспективы его дальнейшего падения радикально меняют место отрасли в мировой экономике. Сворачивается добыча в районах с наиболее сложными условиями и наиболее высоким уровнем издержек (шельф, начиная с глубоководного, Арктика и пр.), что приводит к снижению предельных издержек, а в сочетании со спадом спроса – к долгосрочному и глубокому падению цен. Может произойти концентрация добычи на Ближнем Востоке как регионе с низкими издержками, но геополитическое значение нефтяной отрасли снизится, а ее использование как инструмента политического давления станет невозможным. Роль государства в «отрасли вчерашнего дня» начнет быстро снижаться.

В мировой газовой промышленности рост потребления продолжится до 2030 года. К 2050 г. уровень мирового потребления по-прежнему будет превышать уровень 2010 г. на 15 %. Как и на нефтяном рынке, спад спроса приведет к формированию «рынка покупателя» и не оставит места для спекулятивных операций. «Геополитика газа» будет играть минимальную роль. Динамика *угольной отрасли* аналогична ее динамике в стагнационном сценарии – стагнация до 2030 г. и существенный спад к 2050 г. (до 47 % к современному уровню). В *атомной энергетике* в инновационном сценарии может произойти качественный прорыв. К 2030 г. атомная энергетика может возрасти вдвое, а к 2050 г. – вчетверо по сравнению с современным уровнем. Основой такого роста станет ускоренный переход на стандартные реакторы третьего и четвертого поколений, а также на реакторы на быстрых нейтронах. Это позволит решить урановую проблему и проблему отработанного ядерного топлива, повысить экономические показатели работы АЭС и безопасность.

Производство первичной энергии ВИЭ возрастет к 2030 г. по сравнению с уровнем 2010 г. в 9 раз, а к 2050 г. – в 26 раз (без учета биомассы и большой гидроэнергетики). Доля ВИЭ к 2050 г. достигнет 34 % (доля атомной энергетики – 14 %). В структуре возобновляемой энергетики в 2030 г. будет преобладать ветровая энергетика

(70 %), но к 2050 г. ее доля сократится до 47 % за счет роста доли солнечной энергетики (35 %). Благодаря быстрому технологическому прогрессу стоимость энергии ВИЭ снижается до уровня конкурентоспособности с традиционными источниками энергии.

К 2030 г. мировое потребление электроэнергии достигает 34,4 трлн кВт·ч, а в 2050 г. – 52,0 трлн кВт·ч по сравнению с 20,3 трлн кВт·ч в 2010 г., что приближает мировую энергетику к состоянию «электрического мира». Доля электроэнергии в мировом конечном энергопотреблении в инновационном сценарии вырастет с 21,7 % в 2010 г. до 28,6 % в 2030 г. и 36,8 % в 2050 году. Решающую роль в динамике электроэнергетики сыграют атомная и возобновляемая энергетика. Производство электроэнергии ВИЭ к 2030 г. вырастет в 16 раз до 26,7 % всей выработки, а к 2050 г. – до 48 %. Атомная генерация возрастет к 2030 г. в 4 раза, а ее доля достигнет 20 %.

Глубокие сдвиги в мировом топливно-энергетическом балансе создадут принципиально новые вызовы для России, к которым она в настоящее время слабо подготовлена, и потребуют создания энергетики будущего в России (табл. 6). Снижение мирового спроса и цен на углеводороды потребует глубокой перестройки экономики страны, ее модернизации и инновационного развития.

Кроме того, для России важную роль будет играть формирование новой организационной структуры мировой энергетики. Весьма вероятно формирование новой структуры ценообразования на мировом энергетическом рынке, опирающейся на стоимость конечных энергетических услуг, при этом цены будут формироваться не от сырья к потребительским товарам, а наоборот, на основе технологических факторов. Фактически энергетический рынок станет рынком услуг, а затем и технологий.

После 2030 г. в некоторых странах (преимущественно развитых) начнется формирование электроэнергетических систем нового поколения, основанные на технологиях «умных» сетей, обеспечивающих управление производством, передачей и потреблением электроэнергии в режиме реального времени, а также на сочетании нестабильных (ВИЭ) и стабильных (АЭС) источников энергии. Расширение возможностей передачи электроэнергии приведет к 2030 г. к формированию единых энергетических систем Европы, Восточной Азии, Северной Америки, России и сопредельных стран, а также свя-

Таблица 6. Основные вызовы для России в инновационном сценарии

Тренд	Вызов для России	Требования к России
Замедление спроса	Замедление роста	Модернизация
Сдвиг спроса на углеводороды в Азию	Сильная конкуренция в Европе	Диверсификация направлений экспорта
Конец нефтяной эпохи	Экономический кризис	Снижение зависимости от экспорта нефти
Климатическая политика	Отставание России, проблемы экспорта	Модель работы России на новых рынках
Опережающий рост ВИЭ	Отставание России, неэффективность	Ускоренное развитие ВИЭ в России
Регионализация мировой энергетики	Не востребован экспорт и инвестиции	Оптимизация проектов трубопроводов
Новая фаза развития в развитых странах	Необратимое отставание России	Инновационное развитие
Энергетика нового поколения	Неэффективность энергетики России	Создание энергетики будущего в России

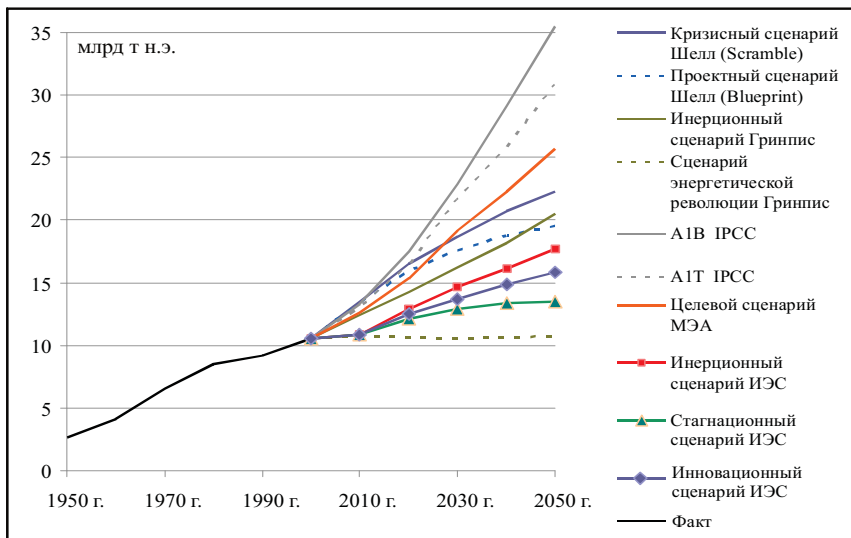
Источник: ИЭС.

зей между ними. За счет потребления электроэнергии на транспорте происходят выравнивание суточных графиков нагрузки и повышение КИУМ.

В результате основные изменения в мировой энергетике будут носить технологический характер, а регулятивные и геополитические факторы отступят на задний план. Сложится энергетика нового типа – постиндустриальная, опирающаяся на неуглеродные источники энергии (ВИЭ и атомная энергия), сложные системы управления энергопотреблением в режиме реального времени, с участием децентрализованных источников энергии, с интеграцией энергетики в техносферу, с развитым энергосбережением. Быстрый рост мировой экономики будет сопровождаться быстрым повышением энергоэффективности, в результате чего потребление энергии станет расти хотя и быстрее стагнационного сценария, но медленнее инерционного.

4.4. Сопоставление с прогнозами других исследовательских организаций

Сопоставление рассмотренных выше сценариев развития мировой энергетики с прогнозами других исследовательских организаций показывает наличие глубоких расхождений между сценариями по базовому параметру – прогнозируемому объему потребления энергии (рис. 29).



Источник: расчеты ИЭС по данным [10, 11, 16, 17, 19].

Рис. 29. Динамика мирового потребления первичной энергии, млрд т н.э.

Расхождение между крайними сценариями других исследовательских организаций (A1B IPCC и сценарием энергетической революции «Гринпис») достигает 3,3 раза. Последний сценарий представляется нереалистичным, однако даже без его учета расхождение достигает 1,8 раза. Обращает на себя внимание, что сценарии IPCC, используемые в прогнозе изменения климата, исходят из максимальных оценок величины энергопотребления в будущем. В то же время сценарии «Шелл» и инерционный сценарий «Гринпис» указывают на близкие значения энергопотребления (19,5–22,5 млрд т н.э.), а целевой сценарий МЭА – на несколько более высокое энергопотребление (25,7 млрд т н.э.). Уровень 19,5–22,5 млрд т н.э. – консенсусный прогноз в рамках инерционного сценария.

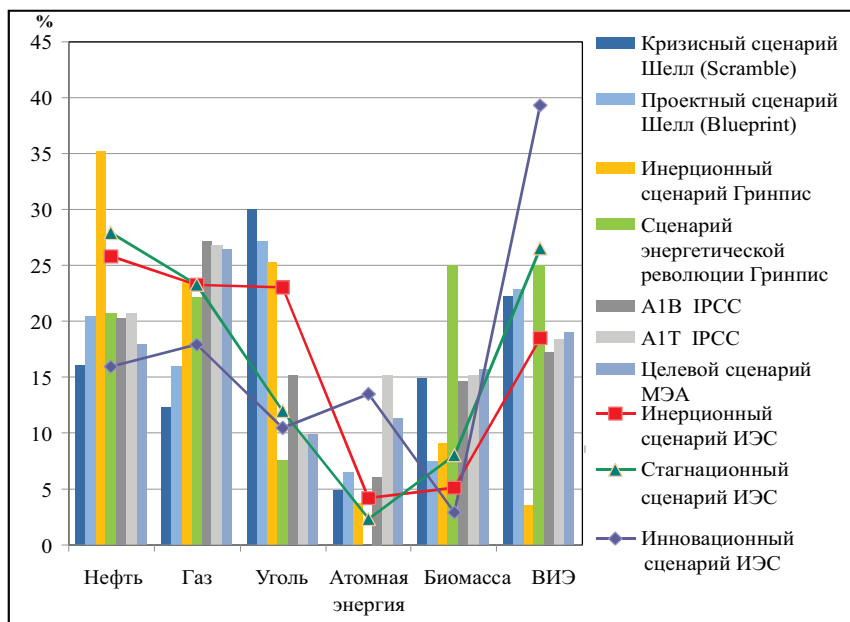
Анализ ожидаемых темпов прироста потребления энергии показывает, что сценарии IPCC, особенно A1B, предполагают в 2010–2050 гг. сохранение темпов роста, достигнутых в первой половине 2000-х гг. и существенно превышающих уровень 1980–1990-х годов. С учетом прохождения ключевыми развивающимися странами стадии энерго- и материалоемкой индустриализации и неизбежной смены модели развития столь высокие темпы роста представляются нереалистичными. В то же время сценарий энергетической революции «Гринпис», предполагающий стагнацию энергопотребления, противоречит всем сложившимся трендам мирового развития и практически невозможен.

Как можно видеть, предлагаемый нами инерционный сценарий несколько ниже большинства «оптимальных» сценариев других исследовательских организаций и намного ниже сценариев IPCC. Мы учитываем, что потенциал индустриализации в развивающихся странах конечен. Стагнационный и инновационный сценарии также отличаются низкими объемами потребления энергии. Таким образом, одним из ключевых выводов нашего исследования является то, что потенциал дальнейшего роста потребления энергии ниже, чем предполагается в большинстве прогнозов.

Несмотря на медленные изменения структуры энергетики в прошлом, форсайтные исследования отличаются высоким разнообразием прогнозов структуры мировой энергетики в будущем (рис. 30). Это свидетельствует о вступлении мировой энергетики в полосу кризиса, когда ее структура может претерпеть резкие изменения.

Сценарии «Гринпис» носят крайний характер. Сценарии «Шелл», напротив, оптимизированы в первую очередь с экономической точки зрения, а не с экологической, что и приводит к высокой доле угля. Напротив, сценарии IPCC и МЭА предполагают рост доли газа до 26–27 % и повышение доли атомной энергетики до 10–15 %. Эти сценарии, как и сценарии «Шелл», предполагают достижение доли ВИЭ в ТЭБ в размере 17–22 %.

Если рассматривать наиболее реалистичные сценарии, то ключевая неопределенность в структуре мировой энергетики состоит: 1) в соотношении потребления угля и природного газа (от 2,5:1 у «Шелл» до 1:2,5 у МЭА и IPCC; 2) в доле атомной энергетики (от 3,7 до 15,1%). При этом снижение доли нефти с 35 до 25 %, рост доли биомассы с 7,4 до 15 % (при переходе от традиционных видов



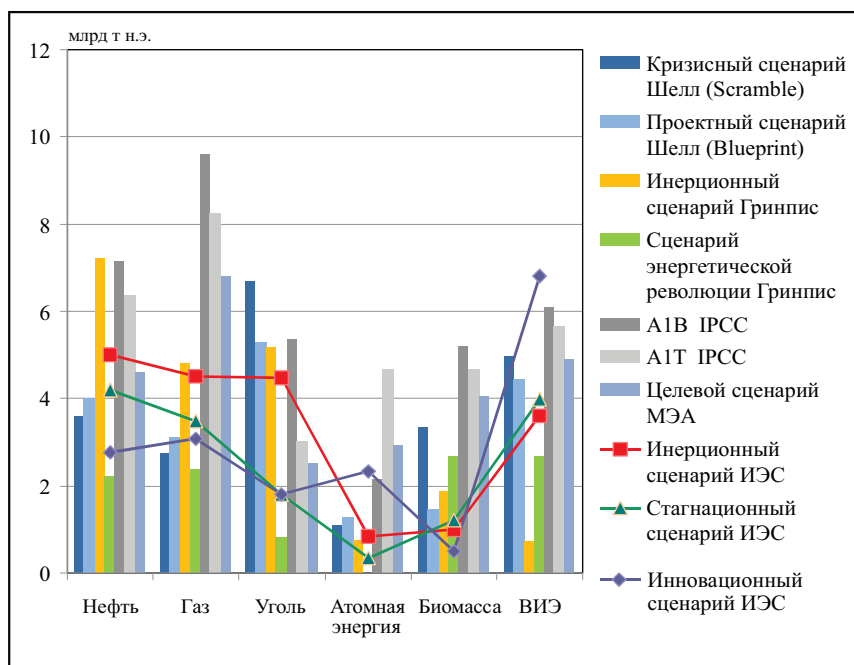
Источник: расчеты ИЭС по данным [10, 11, 16, 17, 19].

Рис. 30. Структура мирового потребления первичной энергии в 2050 г., %

биомассы к новым ее видам) и рост доли ВИЭ с 6 до 17–22 % являются консенсусным прогнозом.

Предлагаемый нами инерционный сценарий по структуре потребления первичной энергии лежит вполне в русле других сценариев, но для него характерна высокая доля нефти. Стагнационный сценарий отличается пониженной по сравнению с большинством прогнозов долей угля и атомной энергии при повышенной доле ВИЭ. Наконец, предлагаемый нами инновационный сценарий предполагает весьма высокую долю ВИЭ и атомной энергии при низкой доле биомассы. Этот сценарий не имеет явных аналогов у других исследовательских организаций.

По абсолютным объемам потребления прогнозы предполагают слом тренда роста потребления всех видов ТЭР (рис. 31). Сценарии IPCC отличаются очень высокими общими объемами энергопотребления. Для этого необходим ежегодный рост потребления нефти в 2005–2050 гг. на 1,0–1,3 %, а природного газа – на 2,7–3,0 %, что равно или несколько выше рекордных с 1970 г. темпов роста 2000–2005 годов. Вероятность сохранения таких тем-



Источник: расчеты ИЭС по данным [10, 11, 16, 17, 19].

Рис. 31. Мировое потребление первичной энергии в 2050 г., млрд т н.э.

пов на протяжении 50 лет, с учетом периодических кризисов, является весьма низкой. Осторожные оценки компании «Шелл» и МЭА предполагают, что к 2050 г. потребление нефти изменится не более чем на 15 % и составит 3,6–4,6 млрд т н.э. Высокий уровень потребления энергии в сценариях IPCC и МЭА требует также высоких объемов потребления ВИЭ и биомассы.

Оценки перспектив угольной и атомной энергетики резко различаются в зависимости от сценария, поскольку эти источники энергии: 1) в отличие от нефти имеют альтернативу, 2) подвергаются критике с экологической точки зрения, 3) будущее атомной энергетики зависит от создания новой технологической платформы – реакторов на быстрых нейтронах и замкнутого ядерного топливного цикла.

В сценариях «Шелл» и сценарии A1B предполагается рост угольной энергетики более чем в 2 раза, с 2,9 до 5,9–6,3 млрд т н.э., при этом в сценариях «Шелл» атомная энергетика вырастет менее чем в 2 раза. Напротив, сценарии A1B, A1T и МЭА предполагают резкий рост атомной энергетики (в 3–7 раз, с 0,7 до 2,1–4,7 млрд т н.э.). Последняя цифра требует годовых темпов роста на уровне 4,4 %, что

возможно только при реализации общемировой программы строительства АЭС, превосходящей по масштабам программы 1980-х гг., что маловероятно.

Таким образом, консенсус-прогноз будущего мировой энергетики к 2050 г. представляется следующим:

1. Потребление нефти изменится на 10–15 % по сравнению с современным уровнем (4,0 млрд т н.э.), причем возможен как рост, так и снижение.

2. Потребление природного газа возрастет в 2–2,5 раза до 5–6 млрд т н.э., что резко повысит значение газа в энергетике, экономике и политике.

3. Потребление угля может вырасти в 2 раза до 6 млрд т н.э. из-за роста спроса на энергоносители в развивающихся странах, но может и снизиться из-за ужесточения экологических ограничений.

4. Потребление биомассы и ВИЭ возрастет в 3–4 раза до уровня 2,5–3,0 млрд т н.э. для каждого из этих видов.

5. Перспективы атомной энергетики зависят в первую очередь от политических решений, но в настоящее время представляется наиболее реалистичным прогноз роста производства атомной энергии в 1,5–2,5 раза.

6. Как следствие, к 2050 г. структура мировой энергетики станет значительно более диверсифицированной. Общий объем потребления энергии составит 19–23 млрд т н.э. Следует подчеркнуть, что эти оценки относятся к консенсусному прогнозу ряда западных исследовательских организаций в рамках инерционной траектории развития.

Предлагаемый нами инерционный сценарий предполагает умеренный рост потребления нефти, природного газа и угля и высокие темпы роста потребления ВИЭ. Стагнационный сценарий предполагает существенное снижение потребления угля и атомной энергии, стабилизацию потребления нефти, умеренный рост потребления природного газа. Рост потребления ВИЭ приблизительно соответствует инерционному сценарию (повышенная доля ВИЭ компенсируется пониженным энергопотреблением). Наконец, предлагаемый нами инновационный сценарий предполагает особенно резкий рост производства энергии ВИЭ и атомной энергии при умеренном слабом росте потребления природного газа и спаде потребления других видов топлива.

Наши сценарии предполагают существенно меньший потенциал роста потребления ископаемого топлива, чем в работах других исследовательских организаций, причем даже в инерционном сценарии. Мы не ожидаем резкого роста спроса на какой-либо из видов ископаемого топлива. В атомной энергетике имеется высокая неопределенность: возможен как рост, так и спад. Напротив, перспективы роста возобновляемой энергетики мы оцениваем существенно выше, чем большинство исследователей. При этом потенциал роста потребления биомассы представляется сравнительно ограниченным. Таким образом, период фронтального роста энергопотребления завершается, а переход к новой энергетической цивилизации представляется нам неизбежным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

РИСКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РОССИИ

Рассмотренные выше сценарии развития мировой энергетики создают для России как значительные риски, так и новые возможности. В инерционном сценарии набор рисков будет традиционным: конкурентная борьба на мировых энергетических рынках, геополитическое соперничество за контроль над районами добычи и путями транспортировки энергоносителей, угрозы национальному суверенитету, терроризм и локальные конфликты, техногенные аварии, риски технологического отставания российской энергетики от мирового уровня, моральное и физическое старение оборудования. Эти риски находятся в поле государственной энергетической политики и в той или иной степени преодолеваются. Также реализуются заложенные в этом сценарии возможности наращивания экспорта энергоносителей, особенно в страны Азии.

Но стагнационный и инновационный сценарии содержат в себе принципиально новые вызовы, которые практически не учитываются в современной государственной энергетической политике. В стагнационном сценарии это вызов климатических изменений и климатической политики. С одной стороны, Россия пока не принимает достаточных мер для перехода к неуглеродной энергетике, что делает ее позиции в системе мирового климатического регулирования весьма уязвимыми (системы квот на выбросы, штрафы за их превышение, снижение экспорта ископаемого топлива, возможные тарифные и нетарифные ограничения на поставки углеродоемкой продукции и пр.). С другой стороны, Россия почти не использует потенциал углеродных рынков, в частности «проектов совместного осуществления» (ПСО) в рамках Киотского протокола. В России весьма слабо развивается индустрия возобновляемых источников энергии, энергосервисных и энергосберегающих услуг, несмотря на их значительный рыночный потенциал.

Наконец, инновационный сценарий создает крайне серьезный риск глубокого технологического отставания. Развитие энергетики в России и государственная политика в этой области, включая Энергетическую стратегию России на период до 2030 года, выдержаны в духе индустриальной энергетики и ориентированы на наращивание добычи ископаемого топлива и энергетических мощностей. Недостаточное внимание уделяется ключевым направлениям в создании

энергетики нового типа – «умным» сетям, управлению энергопотреблением и энергоинформационным системам, технологическому энергосбережению, децентрализации энергоснабжения. Между тем инновационный потенциал России позволяет использовать возможности этого сценария для радикального повышения эффективности национальной экономики и энергетики.

Для преодоления вызовов будущего и реализации заложенных в нем возможностей необходима корректировка государственной энергетической политики с ориентацией на перспективу создания энергетики постиндустриального типа. Для этого необходимо, с одной стороны, ограничить отраслевой лоббизм со стороны отраслей индустриальной энергетики, а с другой – создать благоприятные условия для развития ее новых направлений.

Литература

1. Белл Д. *Грядущее постиндустриальное общество*. М., 1999.
2. Валлерстайн И. *Миросистемный анализ*. М.: Издательский дом «Территория будущего», 2006.
3. Глазьев С.Ю. *Теория долгосрочного технико-экономического развития*. М.: ВлаДар, 1993.
4. Капица С.П. *Парадоксы роста: Законы развития человечества*. М., 2010.
5. Кастельс М. *Информационная эпоха: экономика, общество и культура*. М., 2000.
6. Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. *Законы истории. Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура*. М.: КомКнига/URSS, 2007.
7. Шумпетер Й. *Теория экономического развития (исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры)*. Пер. с англ. М.: Прогресс, 1982.
8. *BP Statistical Review of World Energy 2010*. - London: British Petroleum, 2009.
9. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. *The Limits to Growth*. NY, 1972.
10. *Energy for 2050: Scenarios for a Sustainable Future*. IEA, 2003.
11. *Energy Technology Perspectives*. IEA 2006, 2008, 2010.
12. *International Energy Outlook 2009*. Energy Information Administration. Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy. Washington, DC, 2009.
13. Maddison A. *The World Economy: Historical Statistics*. OECD Development Centre, Paris, 2003.
14. Point Carbon. www.pointcarbon.com.

15. *Renewables Global Status Report 2009*. RNE21, 2010.
16. *Shell energy scenarios to 2050*. Shell International BV, 2008.
17. *The global energy [r]evolution 2010*. Greenpeace, 2010.
18. *The Modern Grid Initiative: Modern Grid v2.0 Powering Our 21st-Century Economy*. - United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2007.
19. *Vision 2050. The new agenda for business*. WBCSD, 2009.
20. *Vision and Strategy for European Electricity Networks of the future*. European Commission, 2006.
21. *World Energy Outlook 2010*. Paris: International Energy Agency, 2010.

**А.М. Белогорьев, В.В. Бушуев, А.И. Громов,
Н.К. Куричев, А.М. Мастепанов, А.А. Троицкий**

ТРЕНДЫ И СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА

Редактор: Г. Сафронова

Компьютерная верстка: В. Щербаков

Подписано в печать 16.05.2011 г.

Формат 60х84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Печ. л. 3,95.

Тираж 200 экз.

Заказ № 82/11 от 16.05.2011 г.

Институт энергетической стратегии (ГУ ИЭС)
109028, г. Москва, Яузский бульвар 13, стр. 3, офис 10
tel/fax: +7 (495) 698-52-34
www.energystategy.ru; e-mail: guies@guies.ru

По вопросам выпуска и реализации электронных версий
наших изданий

обращайтесь в информационный отдел:
tel/fax: +7 (495) 917-39-79; e-mail: inf.guies@live.ru
ICQ: 4951278; Skype: info.guies