

Энергетическая [р]еволюция

ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
СЕКТОРА БЕЛАРУСИ



Энергетическая [р]еволюция

ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
СЕКТОРА БЕЛАРУСИ

 HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG



ЗЕЛЕНАЯ
СЕТЬ 

Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси

Авторы и авторки:

Соня Симон, д-р, Департамент системного анализа и оценки технологий Института технической термодинамики Аэрокосмического центра Германии (моделирование сценариев, разделы 5, 6)

Иван Филютич, ст. н. с. Института энергетики НАНБ (сбор и верификация данных)

Анастасия Бекиш, Экологическое товарищество «Зеленая сеть» (разделы 1.1, 4.1, 4.2)

Павел Горбунов, ОО «Минское велосипедное общество» (разделы 1.2, 4.3, 6.7)

Перевод на русский: Тимофей Чупрун

Редакция: Юлия Огаренко

Корректурa: Анна Пазюк

Дизайн и верстка: Влад Войцеховски и Игорь Корзун

Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси/ С. Симон, И. Филютич, А. Бекиш, П. Горбунов; под ред. Ю. Огаренко// Фонд им. Г. Белля – Минск: ООО «Типография «Плутос», 2018. – 124 с.

Исследование «Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси» выполнено в 2016–2018 годах при поддержке Фонда им. Генриха Белля и в сотрудничестве с организациями гражданского общества, учеными и независимыми экспертами в Беларуси. В докладе представлены результаты моделирования сценария перехода Беларуси к энергетической системе с высокой долей возобновляемой энергетики, а также кратко описаны политические решения и технологии, которые можно использовать уже сегодня для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции.

Предисловие

Стремительные изменения климата и негативные экологические и экономические последствия использования традиционных источников энергии остро ставят вопрос о необходимости изменений в мировой энергетике. Переход на возобновляемые источники энергии — это эффективное решение, способное стабилизировать ситуацию с выбросами парниковых газов и придать дополнительные импульсы росту экономики. Кроме того, такой переход сможет обеспечить странам и регионам энергетическую независимость. Если учесть, что последние годы в секторе возобновляемой энергетики наблюдается устойчивое снижение цен на солнечные, ветровые и другие технологии, неудивительно, что общемировые тенденции свидетельствуют о стабильном росте доли возобновляемых источников энергии.

Дорогие читатели и читательницы,

мы, представители белорусских экологических организаций, не только верим, но и убеждены, что переход на возобновляемые источники энергии абсолютно реалистичен. В этом докладе представлен сценарий перехода, который можно начать реализовывать уже сегодня.

Представьте наше будущее, в котором мы будем иметь чистый городской воздух, улицы будут освещены солнечной энергией, а транспорт больше не будет нуждаться в бензине.

Все, что нужно сделать, — это отказаться от старого стереотипного мышления и признать, что новые технологии не должны жить отдельно от нас. Отказываясь от перехода на возобновляемую энергетику, мы перекладываем ответственность за решение текущих проблем на будущее поколение. Концепция «на наш век хватит» может лишить наших детей возможности равного развития с западными странами-соседами, не говоря уже про наслаждение той природой, которую мы имеем.

В Беларуси уже принимаются определенные меры для государственного стимулирования сектора возобновляемой энергии и повышения энергоэффективности. При этом потенциал высокотехнологического роста сектора современной возобновляемой энергетики в Беларуси остается очень большим. На наш взгляд, результаты моделирования перехода Беларуси на возобновляемые источники энергии, представленные в предлагаемой публикации, демонстрируют полную реалистичность альтернативного энергетического сценария, основанного на идее устойчивого развития. Мы уверены, что данная публикация будет полезной широкому кругу заинтересованных сторон.

**Сергей Сумленный,
Фонд им. Г. Белля**

Читайте эту публикацию не как теоретический доклад, а как инструкцию по сборке будущего. Читая, начинайте действовать.

Важно понимать: переход на возобновляемую энергию — это процесс, который требует воли людей, принимающих государственные решения. Мы, общественные организации, готовы стать надежными партнерами. Настоящее издание наш искренний ответственный вклад в общее дело.

Мы рады представить вашему вниманию доклад «Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси».

Читайте с удовольствием и проектируйте будущее.

**Общественное объединение «Экодом»,
Экологическое товарищество «Зеленая сеть»**

Выражение признательности

Фонд им. Генриха Белля и авторы доклада выражают искреннюю благодарность организациям, экспертам и эксперткам, которые присоединились к проведению исследования, оказывали консультационную поддержку, участвовали в обсуждениях, помогали в сборе и верификации данных, в особенности:

Надежде Шевченко,
Александру Гребенькову,
Сергею Никитину,
Андрею Егорову,
Анне Барановской,

Яну Хаверкампу и другим сотрудникам Гринпис интернэшнл,
сотрудникам Центра Экологических решений,
представителям Белорусской Национальной платформы Форума гражданского общества Восточного партнерства.

Резюме

Все большее количество институтов гражданского общества, ученых и правительств по всему миру рассматривают переход от существующей энергетической системы на основе использования ископаемого и ядерного топлива к системе, основанной преимущественно на использовании возобновляемых источников энергии, как оптимальное решение проблемы глобального изменения климата, а также локальных проблем, связанных с загрязнением воздуха и энергетической безопасностью.

И хотя совсем не просто пошатнуть устоявшиеся взгляды на основные принципы функционирования энергетической системы, сценарии являются необходимым инструментом для описания возможных путей развития, а также помогают лицам, принимающим решения, понять, какие существуют ограничения для изменения энергетической системы в будущем.

Основываясь на серии докладов Гринпис по результатам моделирования сценариев Энергетической [р]еволюции для различных стран, Фонд Генриха Белля с белорусскими общественными организациями инициировал проведение аналогичного исследования для Беларуси. Такой амбициозный сценарий был разработан для Беларуси впервые. Работа проводилась в тесном сотрудничестве с учеными, экспертами и общественными организациями, осуществляющими свою деятельность в сфере энергетической и транспортной политики. Работа по моделированию была выполнена Департаментом системного анализа и оценки технологий Института технической термодинамики Аэрокосмического центра Германии (DLR), а исходные данные и результаты были изучены национальными экспертами.

В исследовании рассмотрены два альтернативных сценария развития энергетической системы Беларуси с целью демонстрации ее потенциала и оценки ограничений, а именно:

- **Базовый сценарий**, отображающий продолжение текущих тенденций и политик, и
- сценарий **Энергетической [р]еволюции**, разработанный для достижения ряда целей экологической политики. Этот сценарий предусматривает оптимистичный, но все же реалистичный переход на декарбонизированную энергетическую систему до 2050 года. При этом выполняются основные допущения Базового сценария.

В целом сценарий Энергетической [р]еволюции никоим образом не предсказывает будущее, он просто описывает и сравнивает возможные пути развития энергетической системы, предлагаемые многочисленными возможными «сценариями будущего». Принцип всех сценариев Энергетической [р]еволюции заключается в том, чтобы определить меры и действия, необходимые для достижения амбициозных целей, а также продемонстрировать имеющиеся

варианты преобразования нашей системы энергообеспечения в более устойчивую. Сценарии могут служить надежным основанием для дальнейшего анализа возможных подходов и концепций для реализации вариантов осуществления энергетического перехода. Ниже представлены ключевые результаты моделирования Базового сценария и сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси.

Ключевые результаты

Траектория развития конечного потребления энергии в Беларуси определяется на основе демографических прогнозов, роста ВВП и удельного энергопотребления. Согласно Базовому сценарию, общее конечное потребление энергии, составляющее в настоящее время 710 ПДж в год, увеличится на 42% до 1 010 ПДж в год в 2050 году. **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, конечное потребление энергии сократится на 24% от текущего уровня до 540 ПДж в год к 2050 году в результате внедрения мер по повышению энергоэффективности.**

Сценарий Энергетической [р]еволюции предполагает, что общее потребление электроэнергии увеличится, несмотря на повышение энергоэффективности во всех отраслях, в связи с ростом экономики, повышением уровня жизни и электрификацией транспортного сектора и теплоэнергетики. При сценарии Энергетической [р]еволюции общее потребление электроэнергии увеличится с около 30 ТВт·ч в год до 61 ТВт·ч в год к 2050 году. **По сравнению с Базовым сценарием меры по повышению энергоэффективности промышленности, коммунального сектора и сферы услуг позволят избежать генерации около 20 ТВт·ч в год.**

Повышение энергоэффективности в теплоэнергетическом секторе будет еще большим, чем в электроэнергетическом. Сценарий Энергетической [р]еволюции позволяет сократить потребление примерно до 300 ПДж в год за счет повышения уровня энергоэффективности к 2050 году по сравнению с Базовым сценарием.

Развитие сектора электроснабжения характеризуется динамичным развитием рынка ветровой и солнечной энергии, которое с лихвой компенсирует отказ от атомной энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции. **К 2050 году 92% электроэнергии, производимой в Беларуси, будет приходиться на возобновляемые источники энергии согласно сценарию Энергетической [р]еволюции.** Установленные мощности возобновляемых источников энергии составят около 9 ГВт к 2030 году и 50 ГВт к 2050 году.

Сценарий Энергетической [р]еволюции приведет к увеличению доли переменных источников производства электроэнергии (солнечная и ветровая энергия)

до 29% уже к 2030 году и 77% от общего объема производства к 2050 году. Таким образом, необходимо развивать «умные» сети электроснабжения (smart grid), управление спросом (demand side management), энергоаккумулирующие мощности и другие решения для того, чтобы увеличить гибкость энергетической системы для интеграции электросетей, обеспечения сбалансированности нагрузки и надежного энергообеспечения.

Внедрение технологий возобновляемой энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции изначально приведет к незначительному увеличению будущей себестоимости производства электроэнергии по сравнению с Базовым сценарием (0,1 цента США за 1 кВт·ч без учета стоимости интеграции в электросеть аккумулирующих мощностей и прочих мер для балансирования нагрузки). **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, производство электроэнергии станет экономически более выгодным сразу после 2020 года в результате повышения цен на традиционные виды топлива и снижения стоимости переменных возобновляемых источников энергии.** К 2050 году стоимость производства электроэнергии будет на 1,9 цента США за 1 кВт·ч меньше для сценария Энергетической [р]еволюции, чем для Базового сценария.

Для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции необходимо около 90 млрд долл. США инвестиций (включая инвестиции в замену оборудования электростанций после завершения экономически обоснованного срока их эксплуатации), что составляет приблизительно 2 млрд долл. США в год. Это на 60 млрд долл. США больше, чем объем инвестиций, предусмотренный Базовым сценарием (30 млрд долл. США).

Поскольку в генерации на основе возобновляемых источников энергии отсутствует такая составляющая, как стоимость топлива, по сценарию Энергетической [р]еволюции экономия за счет стоимости топлива к 2050 году достигнет 63 млрд долл. США, или 1,6 млрд долл. США в год. Таким образом, совокупная экономия за счет стоимости топлива покроет дополнительные инвестиции, необходимые на развитие ВИЭ по сравнению с Базовым сценарием.

В настоящее время за счет возобновляемых источников энергии обеспечивается около 10% потребностей Беларуси в тепловой энергии, преимущественно за счет использования биомассы. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, возобновляемые источники смогут обеспечить 33% от общего теплопотребления Беларуси уже в 2030 году и будут обеспечивать 80% от общего объема теплопотребления в 2050 году. **За счет мер по повышению энергоэффективности можно снизить растущее сегодня потребление тепловой энергии на 45% к 2050 году** (по сравнению с Базовым сценарием), при этом повышая уровень жизни и увеличивая экономический рост.

По приблизительным оценкам, **для реализации сценария Энергетической [р]еволюции до 2050 года в совокупности понадобится около 33 млрд долл. США инвестиций в возобновляемые теплоэнергетические технологии** (включая средства на замену установок после завершения экономически обоснованного срока их эксплуатации), или около 1 млрд долл. США в год. Для обеспечения динамичного развития, в частности, технологий возобновляемой энергии, используемых в жилищном секторе, а также производства тепловой энергии при помощи возобновляемых источников необходимы специальные инструменты поддержки. В случае Беларуси речь идет, в частности, о мерах поддержки интеграции технологий солнечной и геотермальной тепловой энергетики в системы централизованного теплоснабжения.

Согласно Базовому сценарию, в связи с ростом ВВП и повышением уровня жизни ожидается лишь незначительное увеличение потребления энергии транспортным сектором – приблизительно на 33% до 230 ПДж в год в 2050 году. **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, меры по повышению энергоэффективности и перераспределение перевозок по видам транспорта позволят достичь экономии на уровне 45% (103 ПДж в год) в 2050 году по сравнению с Базовым сценарием.** Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, к 2030 году электричество будет обеспечивать 8% от общего потребления энергии транспортным сектором, а в 2050 году – 48%. Основная задача Беларуси заключается в том, чтобы предложить гражданам стимулы пользоваться малолитражными автомобилями и покупать новые, более эффективные модели автомобилей. Кроме того, жизненно важно перейти на использование энергоэффективных видов транспорта, таких как железная дорога, городской наземный рельсовый транспорт и автобусы, особенно в расширяющемся столичном регионе.

Общее потребление первичной энергии сократится на 33% от текущего уровня 1 010 ПДж в год до примерно 680 ПДж в год. По сравнению с Базовым сценарием общее потребление первичной энергии уменьшится на 50% в 2050 году согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. Общая доля возобновляемой первичной энергии составит 27% в 2030 году и 80% в 2050 году согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. **В конечном потреблении энергии доля возобновляемых источников энергии увеличивается с 6,8% в 2014 году до 80,5% в 2050 году.**

Согласно Базовому сценарию выбросы CO₂ в Беларуси увеличатся на 13% в период с 2014 по 2050 годы, **в то время как согласно сценарию Энергетической [р]еволюции к 2050 году они сократятся с 55 млн т в 2014 году до 8 млн т в 2050 году и будут на 93% ниже аналогичных показателей 1990 года.** Годовой объем выбросов на душу населения снизится с 5,8 т до 0,9 т.

Сокращения и аббревиатуры

АЭС	атомная электростанция	COP	Conferences of the Parties (Конференция сторон РКИК ООН)
БС	Базовый сценарий	CCS	carbon capture and storage (технология улавливания и хранения углерода)
ВВП	валовой внутренний продукт	DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Аэрокосмический центр Германии)
ВИЭ	возобновляемые источники энергии	DSM	demand side management (управление спросом)
ВЭС	ветровая электростанция	EREC	European Renewable Energy Council (Европейский совет по возобновляемой энергии)
ГАЭС	гидроаккумулирующая электростанция	HDV	high duty vehicle (крупнотоннажный грузовой автомобиль)
ГЭС	гидроэлектростанция	IEA	International Energy Agency (Международное энергетическое агентство)
ГЭФ	Глобальный экологический фонд	IPCC	Intergovernmental panel on climate change (Межправительственная группа экспертов по изменению климата)
ДВС	двигатель внутреннего сгорания	GWEC	Global Wind Energy Council (Глобальный совет по ветроэнергетике)
долл. США	доллар США	LDV	light duty vehicle (малотоннажный (легковой) автомобиль)
ДТП	дорожно-транспортное происшествие	MDV	medium duty vehicle (среднетоннажный грузовой автомобиль)
КПД	коэффициент полезного действия	PC	private car (легковой автомобиль)
КСЭС	концентрированная солнечная электростанция	PV systems	photovoltaic systems (фотоэлектрические системы)
МВФ	Международный валютный фонд	RE	renewable energy (возобновляемые источники энергии)
МЭА	Международное энергетическое агентство	SPE	Solar Power Europe (Европейская ассоциация по солнечной энергетике)
ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития	SRREN	Special Report on Renewable Energy Sources (Специальный доклад о возобновляемых источниках энергии)
ПГ	парниковые газы	WEO	World Energy Outlook (Прогноз мировой энергетике)
ПГУ	парогазовая установка		
ПМЭ	Прогноз мировой энергетике		
ППС	паритет покупательной способности		
ППСЭ	полная приведенная стоимость электроэнергии		
ПРООН	Программа развития Организации Объединенных Наций		
РКИК ООН	Рамочная конвенция ООН об изменении климата		
СЭС	солнечная электростанция		
ТЭС	тепловая электростанция		
ТЭЦ	теплоэлектроцентраль		
Э[Р]	сценарий Энергетической [р]еволюции		
ЭС	электростанция		
ЭЭ технологии	энергоэффективные технологии		

Единицы измерения

ГВт	гигаватт	млн т у. т.	миллион тонн условного топлива
Гт	гигатонна	млрд	миллиард
кВт	киловатт	нм³	нормальный кубический метр
кВт·ч	киловатт-час	пасс-км	пассажиро-километр
км	километр	ПДж	петаджоуль
МВт	мегаватт	т	тонна
мд	миллионная доля (ppm)	т н. э.	тонна нефтяного эквивалента
МДж	мегаджоуль	ТВт·ч	тераватт-час
млн	миллион	т-км	тонно-километр
млн т	миллион тонн	тыс.	тысяча
млн т н. э.	миллион тонн нефтяного эквивалента	ЭДж	эксаджоуль

Список рисунков

Рис. 1.1. Среднее (взвешенное на подвижной состав по миру) удельное энергопотребление пассажирским транспортом по состоянию на сегодня и к 2050 году	19
Рис. 1.2. Среднее по миру (взвешенное на подвижной состав) удельное энергопотребление грузовым транспортом по состоянию на сегодня и к 2050 году	19
Рис. 2.1. Оценочная доля возобновляемой энергии от глобального конечного потребления энергии в 2015 году	28
Рис. 2.2. Децентрализованные источники энергии будущего	30
Рис. 2.3. Изменение подхода к электросетям	32
Рис. 2.4. Перспективы интеллектуальных электросетей в контексте Э[Р]	34
Рис. 2.5. Изменение цепочки создания ценности для планирования, строительства и эксплуатации новых электростанций	35
Рис. 3.1. Ветроэнергетика – краткосрочный прогноз в сравнении с фактическим развитием – глобальная совокупная мощность	40
Рис. 3.2. Ветроэнергетика – долгосрочные прогнозы развития рынка на период до 2030 года	41
Рис. 3.3. Солнечная энергетика – краткосрочный прогноз в сравнении с фактическим развитием – глобальная совокупная мощность	43
Рис. 3.4. Солнечная энергетика – долгосрочные прогнозы развития рынка на период до 2030 года	44
Рис. 4.1. Изменение выбросов парниковых газов по секторам 1990–2015 гг.	48
Рис. 5.1. Обзор структуры модели Mesap/PlaNet	58
Рис. 5.2. Прогнозируемое изменение стоимости производства электроэнергии при помощи генерирующих мощностей на ВИЭ	63
Рис. 5.3. Кривые потенциала полной почасовой нагрузки для ветровых и солнечных электростанций в Беларуси	65
Рис. 6.1. Прогноз общего конечного потребления энергии по секторам	68
Рис. 6.2. Изменение потребления электроэнергии по секторам согласно сценарию Э[Р]	69
Рис. 6.3. Изменение потребления тепловой энергии по секторам согласно сценарию Э[Р]	69
Рис. 6.4. Изменение конечного потребления энергии транспортным сектором по видам транспорта согласно сценарию Э[Р]	69
Рис. 6.5. Развитие структуры генерации электроэнергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р]	70
Рис. 6.6. Изменение общих затрат на электроснабжение и удельной стоимости производства электрической энергии	71
Рис. 6.7. Структура инвестиций	72
Рис. 6.8. Прогноз теплоснабжения по видам энергоносителей	73
Рис. 6.9. Изменение инвестиций в возобновляемые технологии теплогенерации	74
Рис. 6.10. Конечное потребление энергии транспортным сектором	76
Рис. 6.11. Прогноз общего потребления первичной энергии по энергоносителям	76
Рис. 6.12. Изменение выбросов CO ₂ по секторам	77
Рис. 7.1. Схема производства и использования энергии, иллюстрирующая роль ВИЭ наряду с другими решениями производства энергии	82
Рис. 7.2. Пример фотоэлектрического эффекта	83
Рис. 7.3. Фотоэлектрическая технология	83
Рис. 7.4. Различные конфигурации солнечных энергетических систем	85
Рис. 7.5. Первые конструкции ветровой турбины EWEA	86
Рис. 7.6. Увеличение размера типовых промышленных ветровых турбин	86
Рис. 7.7. Схематическое изображение коммерческих решений использования биоэнергии	89
Рис. 7.8. Русловая гидроэлектростанция	90
Рис. 7.9. Стандартная резервуарная гидроэлектростанция	90
Рис. 7.10. Стандартная гидроаккумулирующая электростанция	90
Рис. 7.11. Стандартная свободнопоточная электростанция	91
Рис. 7.12. Системы естественной и принудительной циркуляции	96
Рис. 7.13. Производство метана из возобновляемой электроэнергии	103
Рис. 7.14. Возможные локации и технологии аккумуляции электроэнергии в энергосистеме	104

Список таблиц

Таблица 1.1. Технический потенциал по повышению эффективности пассажирского транспорта на глобальном уровне	22
Таблица 3.1. Обзор ключевых параметров типичных сценариев, строящихся на экзогенных допущениях	45
Таблица 4.1. Перспективные инструменты государственной политики в транспортном секторе	53
Таблица 5.1. Прогнозы демографического развития для Беларуси	59
Таблица 5.2. Прогнозы относительно динамики цен на ископаемое топливо и биомассу (в ценах 2013 года) для Беларуси на основании допущений, подготовленных для Евразии	60
Таблица 5.3. Изменение инвестиционных затрат и затрат на повышение энергоэффективности для некоторых новых технологий электростанций; примерные данные по Беларуси	61
Таблица 5.4. Допущения относительно изменения стоимости технологий возобновляемой энергетики согласно сценарию Э[Р]	63
Таблица 6.1. Прогноз развития генерирующих мощностей возобновляемой электроэнергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (МВт)	70
Таблица 6.2. Общие инвестиционные расходы на производство электроэнергии и экономия за счет стоимости топлива согласно сценарию Э[Р] по сравнению с Базовым сценарием	71
Таблица 6.3. Прогноз теплоснабжения за счет возобновляемых источников энергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (ПДж в год)	72
Таблица 6.4. Установленные мощности для генерации тепла из возобновляемых источников энергии согласно сценариям (ГВт)	73
Таблица 6.5. Общие инвестиционные расходы на производство тепловой энергии согласно сценарию Э[Р] по сравнению с Базовым сценарием	74
Таблица 6.6. Прогноз энергопотребления в транспортном секторе по видам транспорта согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (ПДж в год)	75
Таблица 7.1. Тип и размер систем в разрезе сегментов рынка	84

Список вставок

Вставка 3.1. Статья Meister Consultants «Революция в секторе возобновляемой энергетики»	42
Вставка 7.1. Определение возобновляемой энергии	81
Вставка 7.2. Сорбционные охлаждающие установки	98
Вставка 7.3. Типовые технические характеристики тепловых насосов	99

Содержание

Предисловие	3
Резюме	4
Сокращения и аббревиатуры	6
Список рисунков	7
Список таблиц	8
Список вставок	8
Введение	12
1. Мировые тенденции в энергетическом и транспортном секторе	14
1.1. Международная климатическая и энергетическая политика.....	16
1.2. Мировые тенденции в транспортном секторе	17
1.3. Технические и поведенческие меры, направленные на сокращение энергопотребления в транспортном секторе	18
1.3.1. Этап 1: сокращение энергопотребления в транспортном секторе.....	18
1.3.2. Этап 2: изменение видов транспорта.....	19
1.3.3. Этап 3: технические решения, направленные на повышение энергоэффективности	20
2. Концепция Энергетической [р]еволюции	24
2.1. Разработка сценария Энергетической [р]еволюции	26
2.2. Алгоритм Энергетической [р]еволюции.....	26
2.3. Пятиэтапная реализация	28
2.3.1. Этап 1: энергоэффективность и справедливое распределение энергетических ресурсов	29
2.3.2. Этап 2: революция возобновляемой энергетики	29
2.3.3. Этап 3: транспортная революция.....	31
2.3.4. Этап 4: интеллектуальная инфраструктура для непрерывного 24/7 энергообеспечения за счет возобновляемых источников энергии.....	31
2.3.5. Этап 5: новые инструменты государственной политики для внедрения новых бизнес-моделей.....	34
3. Обзор сценарных прогнозов Гринпис	38
3.1. Развитие глобальной ветроэнергетики	40
3.2. Развитие глобальной индустрии солнечных панелей.....	41
3.3. Как можно сравнить сценарий Энергетической [р]еволюции с другими сценариями?	43
4. Обзор климатической и энергетической политики, а также перспектив развития транспортного сектора Беларуси	46
4.1. Климатическая политика.....	48
4.2. Энергетическая политика	49
4.3. Государственная политика и перспективы развития транспортного сектора	51
5. Методология	54
5.1. Вступление к сценарному подходу	56
5.1.1. Основные допущения сценариев.....	56
5.1.2. Сценарный подход	57
5.2. Основные допущения сценария.....	59
5.2.1. Изменение потребления.....	59
5.2.2. Прогнозы цен на нефть и газ	60
5.2.3. Прогнозы цен на технологии эффективной генерации на основе ископаемых видов топлива и выбросы CO ₂	60
5.2.4. Прогнозы развития технологий возобновляемой энергии.....	61
5.2.5. ВИЭ в секторе теплоэнергетики.....	63
5.2.6. Потенциал возобновляемой энергетики Беларуси	64

6. Результаты моделирования сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси	66
6.1. Конечное потребление энергии по секторам	68
6.2. Генерация электроэнергии	69
6.3. Будущая себестоимость генерации электроэнергии	70
6.4. Будущие инвестиции в энергетический сектор	71
6.5. Энергообеспечение сектора теплоэнергетики	72
6.6. Будущие инвестиции в теплоэнергетический сектор	73
6.7. Транспорт	74
6.8. Потребление первичной энергии	76
6.9. Изменение объема выбросов CO ₂	77
7. Энергетические технологии	78
7.1. Технологии сжигания газа	80
7.2. Ядерные технологии	80
7.3. Технологии возобновляемой энергетики и теплоснабжения	81
7.3.1. Солнечные электростанции (фотоэлектрические)	82
7.3.2. Фотоэлектрические элементы и модули	83
7.3.3. Фотоэлектрические системы	84
7.3.4. Ветровая энергия	85
7.3.5. Энергия биомассы	87
7.3.6. Технологии на биомассе	87
7.3.7. Гидроэлектроэнергия	89
7.4. Технологии электросетей – инфраструктура для возобновляемых источников энергии	91
7.4.1. Управление спросом	92
7.4.2. Сеть «сверхвысокого напряжения» – объединение интеллектуальных электросетей	93
7.5. Отопление и охлаждение при помощи технологий возобновляемой энергетики	95
7.5.1. Солнечные тепловые технологии	95
7.5.2. Тепловые насосы	98
7.5.3. Технологии теплоснабжения на основе биомассы	99
7.5.4. Биогаз	101
7.5.5. Технологии аккумуляции энергии	102
8. Выводы	106
Приложения	108
Приложение 1. Генерация электроэнергии согласно Базовому сценарию (ТВт·ч в год)	110
Приложение 2. Установленные мощности согласно Базовому сценарию (ГВт)	111
Приложение 3. Теплоснабжение согласно Базовому сценарию (ПДж в год)	112
Приложение 4. Потребление первичной энергии согласно Базовому сценарию (ПДж в год)	113
Приложение 5. Конечное потребление энергии согласно Базовому сценарию (ПДж в год)	114
Приложение 6. Ключевые исходные данные по транспортному сектору	115
Приложение 7. Конечное потребление энергии в транспортном секторе согласно Базовому сценарию (ПДж в год)	116
Приложение 8. Выбросы CO ₂ согласно Базовому сценарию (млн т в год)	117
Приложение 9. Производство электроэнергии согласно сценарию Э[Р] (ТВт·ч в год)	118
Приложение 10. Установленные мощности согласно сценарию Э[Р] (ГВт)	119
Приложение 11. Теплоснабжение согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)	120
Приложение 12. Потребление первичной энергии согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)	121
Приложение 13. Конечное потребление энергии согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)	122
Приложение 14. Конечное потребление энергии транспортным сектором согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)	123
Приложение 15. Выбросы CO ₂ согласно сценарию Э[Р] (млн т в год)	124



Введение

После заключения Парижского соглашения в 2015 году все больше сторон присоединяются к глобальному движению за переход на 100%-е использование возобновляемых источников энергии, являющийся залогом успешного выполнения целей соглашения. На COP-22 в Марракеше 48 стран – членов Climate Vulnerable Forum объявили¹ о намерениях перейти на 100%-е использование ВИЭ. Города и регионы по всему миру также присоединяются к этому политическому решению и начинают активно претворять его в жизнь (включая такие крупные города, как Франкфурт, Ванкувер, Копенгаген, Осло и многие другие²). Глобальный бизнес не стоит в стороне и тоже присоединяется к переходу на 100%-е использование возобновляемых источников энергии. Такие компании, как Apple, Google, Microsoft, IKEA, Adobe, BMW, Bank of America, Ebay, Facebook, General Motors, Nike, Unilever и другие, присоединились к инициативе RE 100³ и на своем примере демонстрируют, что цель достижима⁴. Таким образом, все большее количество институтов гражданского общества, ученых и правительств по всему миру рассматривают переход от существующей энергетической системы на основе использования ископаемого и ядерного топлива к системе, основанной преимущественно на использовании возобновляемых источников энергии, как оптимальное решение проблемы глобального изменения климата, а также локальных проблем, связанных с загрязнением воздуха и энергетической безопасностью.

И хотя совсем не просто пошатнуть устоявшиеся взгляды на основные принципы функционирования энергетической системы, сценарии являются необходимым инструментом для описания возможных путей развития, а также помогают лицам, принимающим решения, понять, какие существуют ограничения для изменения энергетической системы в будущем.

Основываясь на серии докладов Гринпис по результатам моделирования сценариев Энергетической [р]еволюции для различных стран, Фонд Генриха Белля в сотрудничестве с белорусскими общественными организациями инициировал проведение аналогичного исследования для Беларуси. Такой амбициозный сценарий был разработан для Беларуси впервые. Работа проводилась в тесном сотрудничестве с учеными, экспертами и общественными организациями, осуществляющими свою деятельность в сфере энергетической и транспортной политики. Работа по моделированию была выполнена Департаментом системного анализа и оценки технологий Института технической термодинамики Аэрокосми-

ческого центра Германии (DLR), а исходные данные и результаты были изучены национальными экспертами.

В исследовании рассмотрены два альтернативных сценария развития энергетической системы Беларуси с целью демонстрации ее потенциала и оценки ограничений, а именно:

- **Базовый сценарий**, отображающий продолжение текущих тенденций и политик, и
- сценарий **Энергетической [р]еволюции**, разработанный для достижения ряда целей экологической политики. Этот сценарий предусматривает оптимистичный, но все же реалистичный переход на декарбонизированную энергетическую систему до 2050 года. При этом выполняются основные допущения Базового сценария.

Следует отметить, что сценарий – это не план и не стратегия. Его цель заключается в том, чтобы расширить границы традиционного представления об энергетической политике. Тем не менее сценарии могут служить надежным основанием для дальнейшего анализа возможных подходов и концепций для реализации вариантов осуществления энергетического перехода.

Разрыв между Базовым, «инерционным» (business-as-usual) сценарием и амбициозным сценарием Энергетической [р]еволюции свидетельствует об объеме усилий, которые необходимо приложить в отношении политики и инвестиций. Хотя Беларуси удалось достичь определенного прогресса в осуществлении мер по энергосбережению (см. главу 4.2), цель настоящего исследования заключается в том, чтобы дать правительству стимулы ставить перед собой более амбициозные цели в области энергоэффективности и возобновляемой энергии.

В настоящем исследовании представлены результаты моделирования сценария перехода Беларуси к энергетической системе с высокой долей возобновляемой энергии, а также кратко описаны политические решения и технологии, которые можно использовать уже сегодня для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции. В первой главе представлено краткое описание достигнутого прогресса и факторов, которые сегодня препятствуют реализации глобальной климатической и энергетической политики, а также мер технического и поведенческого характера, направленных на сокращение энергопотребления в транспортном секторе. Пояснение базовых принципов Энергетической [р]еволюции приведено в главе 2, в то время как обзор предыдущих сценарных прогнозов Гринпис представлен в главе 3. В главе 4 приведен обзор климатической и энергетической политики, а также перспектив развития транспортного сектора Беларуси. Методология, включая основные допущения и источники информации, подробно описана в главе 5, а результаты представлены в главе 6. Подробный обзор традиционных энергетических технологий, а также доступных сегодня технологий возобновляемой энергетики, теплоснабжения и охлаждения представлен в главе 7. И, наконец, выводы кратко представлены в главе 8. Таблицы данных приведены в Приложениях.

¹ Climate Vulnerable Forum Commit to Stronger Climate Action at COP22, <https://thecvf.org/cvf-2016-forum-press-release>

² U.S. Mayors Back 100% Renewable Energy, Vow to Fill Climate Leadership Void, <https://insideclimatenews.org/news/26062017/mayors-conference-supports-100-percent-renewable-energy-electric-vehicles-climate-change>

³ 111 RE100 companies have made a commitment to go '100% renewable', <http://there100.org>

⁴ Apple moves closer to 100% renewable energy as it issues \$1 billion green bond, <https://9to5mac.com/2017/06/13/renewable-energy-1-billion-green-bond/>

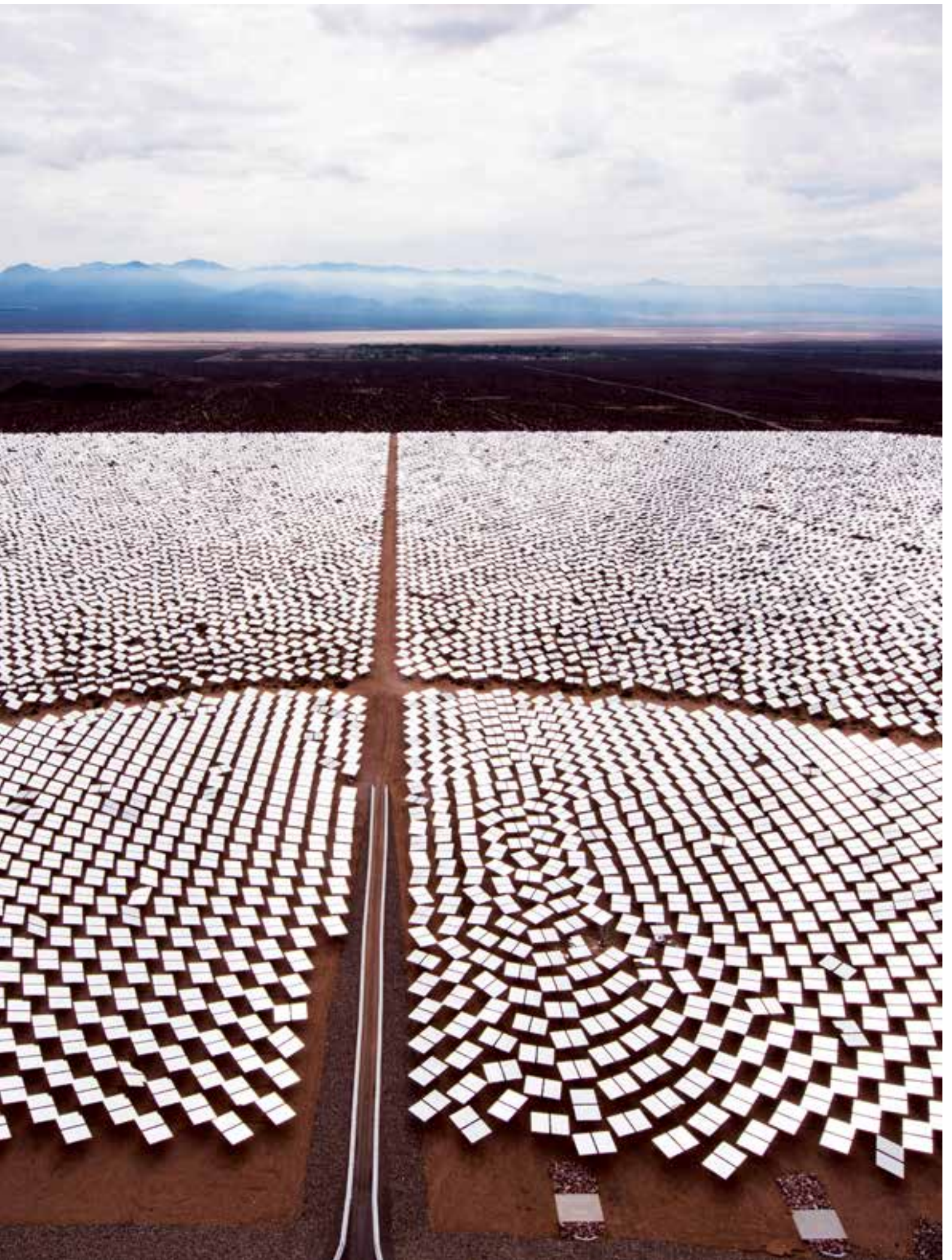


Фото: ©Сергей Кравченко

1

Мировые тенденции в энергетическом и транспортном секторе

- Международная климатическая и энергетическая политика
- Мировые тенденции в транспортном секторе
- Технические и поведенческие меры, направленные на сокращение энергопотребления в транспортном секторе
- Этап 1: сокращение энергопотребления в транспортном секторе
- Этап 2: изменение видов транспорта
- Этап 3: технические решения, направленные на повышение энергоэффективности



Φoto: ©flickr.com - National Renewable Energy Laboratory

1.1. Международная климатическая и энергетическая политика

«Без принятия срочных мер, направленных на декарбонизацию наших экономик, изменение климата может стать необратимым. Правительства договорились сдерживать рост средней температуры на планете ниже 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем. Это означает, что выбросы парниковых газов на глобальном уровне должны будут достичь пикового значения и начать сокращаться еще до 2020 года, чтобы максимально приблизиться к нулевой отметке к середине столетия»⁵.

Признавая глобальные угрозы изменения климата, правительства стран приняли Рамочную конвенцию об изменении климата Организации Объединенных Наций (РКИК ООН) в 1992 году. С тех пор международное сотрудничество в области противодействия изменению климата расширилось в соответствии с Киотским протоколом, принятым в 1997 году. Протокол вступил в силу в начале 2005 года, и только одна промышленно развитая страна, США, его не ратифицировала⁶.

В 2009 году 195 членов РКИК ООН должны были предоставить новое соглашение об изменении климата в Копенгагене. К сожалению, на этой конференции они потерпели неудачу. На Конференции сторон в Дурбане в 2012 году было принято решение о подготовке нового соглашения к 2015 году⁷.

В 2015 году долгий процесс международных переговоров привел к результату – Парижскому соглашению, которое придет на смену Киотскому протоколу в 2020 году и имеет универсальный характер, предполагающий, что каждая страна добровольно внесет посильный для нее и в то же время достаточно амбициозный вклад в снижение антропогенного воздействия на климат и адаптацию к необратимым последствиям климатических изменений.

По состоянию на сентябрь 2017 года 197 стран являются сторонами Парижского соглашения, 166 стран уже ратифицировали этот международный договор⁸. Соглашение беспрецедентно быстро вступило в силу – менее чем через год после 21-й Конференции сторон РКИК ООН – 4 ноября 2016 года, что позволило в очередной раз подтвердить серьезность намерений мирового сообщества. Тем не менее, по данным Программы ООН по окружающей среде (UNEP)⁹, даже 100%-ное выполнение текущих «парижских» обязательств приведет в лучшем случае к сдерживанию роста глобаль-

ной температуры на уровне 3°C к концу столетия, тогда как задекларированная цель соглашения – не более 2°C. Оценка UNEP включает в себя и обязательства США, выполнение которых под вопросом. В начале июня 2017 года президент США Дональд Трамп заявил о выходе из Парижского соглашения¹⁰, что делает цель документа еще более труднодостижимой. И хотя Парижское соглашение предусматривает обязательный пересмотр и укрепление амбициозности обязательств каждые 5 лет, процесс не обещает быть легким и потребует политического лидерства и активных действий по трансформации глобальной энергетической системы со стороны старых и новых лидеров – ЕС и Китая, а также каждой стороны соглашения.

Ожидается, что значительную роль в выполнении целей Парижского соглашения сыграют и неправительственные субъекты: бизнес, гражданское общество и местные сообщества. Именно реакция отдельных штатов и городов, крупного бизнеса в США на планы Трампа по прекращению членства США в глобальном соглашении дает надежду, что обязательства будут выполняться, несмотря на позицию федерального правительства – и это демонстрирует уровень понимания важности и срочности активных действий в защиту климата и ответственного отношения к своей роли в глобальном движении.

За время, прошедшее после заключения Парижского соглашения в 2015 году, все больше сторон присоединяются к глобальному движению за переход на 100%-ное использование возобновляемых источников энергии, являющийся залогом успешного выполнения целей соглашения. На COP22 в Марракеше 48 стран – членов Climate Vulnerable Forum объявили¹¹ о намерениях перейти на 100%-ное использование ВИЭ. Города и регионы по всему миру также присоединяются к этому политическому решению и начинают активно претворять его в жизнь (включая такие крупные города, как Франкфурт, Ванкувер, Копенгаген, Осло и многие другие¹²). Глобальный бизнес также не остается в стороне от движения к переходу к 100%-му использованию возобновляемой энергии: такие компании, как Apple, Google, Microsoft, IKEA, Adobe, BMW, Bank of America, Ebay, Facebook, General Motors, Nike, Unilever и другие, присоединились к инициативе RE100¹³ и своим прогрессом демонстрируют, что цель достижима¹⁴.

По данным Международного энергетического агентства (МЭА)¹⁵, именно на производство энергии приходится две трети глобальных выбросов парниковых газов. Поэтому

⁵ Energy [R]evolution: a Sustainable Energy Outlook for Poland, <http://www.energyblueprint.info/1821.o.html>

⁶ Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015, https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/studie_energy_revolution_2015_engl.pdf

⁷ Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015, https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/studie_energy_revolution_2015_engl.pdf

⁸ Paris Agreement: Status of Ratification, http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php

⁹ The Emissions Gap Report 2016: A UNEP Synthesis Report, <https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/emissions-gap-report-2016-unep-synthesis-report>

¹⁰ Трамп объявил о выходе США из Парижского соглашения по климату, <http://www.bbc.com/russian/news-40120078>

¹¹ Climate Vulnerable Forum Commit to Stronger Climate Action at COP22, <https://thecvf.org/cvf-2016-forum-press-release>

¹² U.S. Mayors Back 100% Renewable Energy, Vow to Fill Climate Leadership Void, <https://insideclimatenews.org/news/26062017/mayors-conference-supports-100-percent-renewable-energy-electric-vehicles-climate-change>

¹³ 111 RE100 companies have made a commitment to go '100% renewable', <http://there100.org>

¹⁴ Apple moves closer to 100% renewable energy as it issues \$1 billion green bond, <https://9to5mac.com/2017/06/13/renewable-energy-1-billion-green-bond>

¹⁵ IEA 2015, World Energy Outlook Special Report: Energy and Climate Change, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WE02015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>

именно трансформация глобальной энергетической системы, учитывающая необходимость решения вопросов энергетической безопасности и быстрого, но социально справедливого отказа от ископаемых источников энергии, является залогом выполнения целей, установленных Парижским соглашением. В 2014 году впервые как минимум за 40 лет при росте мировой экономики выбросы, связанные с энергетическим сектором, не росли – эта тенденция сохранилась и в последующие годы¹⁶. Ослабление зависимости между экономическим ростом и ростом выбросов в сфере энергетики связывают со снижением энергоёмкости мировой экономики, обусловленным интенсивной имплементацией мер по энергосбережению, а также бурным развитием возобновляемых источников энергии.

Лидерами роста в сфере развития ВИЭ остаются Китай, США, Япония и Германия. По данным REN21¹⁷, установленная мощность ВИЭ в 2016 году вновь побила рекорды: по сравнению с 2015 годом рост составил почти 9% (161 ГВт), при этом общемировая установленная мощность ВИЭ составила 2017 ГВт. Основной объем новых мощностей приходится на развивающиеся страны (в основном Китай, являющийся абсолютным мировым лидером в развитии возобновляемой энергетики). Высокие темпы роста ВИЭ обусловлены значительным снижением стоимости технологий: так, стоимость солнечной энергии в некоторых странах составила 0,05 долл. США/кВт·ч и менее. Кроме того, в 2016 году в сфере ВИЭ были трудоустроены уже 9,8 миллиона человек.

Тем не менее только лишь удешевление возобновляемой энергетики не в состоянии решить проблему выбросов энергетического сектора: для перехода к 100%-му отказу от использования ископаемого топлива необходима гораздо более широкая трансформация, требующая значительной политической воли.

1.2. Мировые тенденции в транспортном секторе

Экономические потери, связанные с нехваткой городского пространства, дорожными пробками, загазованностью воздуха и ее влиянием на здоровье людей, дорожным травматизмом, мотивируют муниципалитеты городов оптимизировать функционирование транспортного сектора.

На сегодняшний день в транспортном секторе стран ЕС, так же как и в энергетическом секторе, происходят серьезные изменения, среди которых можно условно выделить 3 направления: революция стратегий управления, революция моделей поведения и революция технологий.

Революция стратегий управления. С конца XX века развитые города все больше переходят из режима удовлетворения транспортного спроса (расширение дорожной сети, связанное с ростом автотранспорта) в режим управления им. Это выражается в создании городских целевых транспортных стратегий, планов мобильности – комплексных

документов, охватывающих всю транспортную проблематику. Для их осуществления внедряются механизмы снижения использования личного транспорта (например, корректирующая система налогов, платные парковки, платный въезд в город, приоритетное развитие общественного транспорта, пеших и велосипедных поездок). Планирование кварталов лучших городов мира проводится с улучшением доступности общественного транспорта, уменьшением числа и протяженности вынужденных перемещений. Эти планы и стратегии, как правило, являются целевыми (то есть вначале ставятся амбициозные, но достижимые цели, а затем определяются требуемые мероприятия).

В результате внедрения стратегий и планов изменяется и поведение людей. Из экономических, экологических соображений и с целью снижения негативного влияния транспортного сектора на здоровье жители городов начинают все чаще использовать совместные поездки, велосипеды, портативные транспортные средства. К примеру, доля поездок по деловым целям на велосипеде в Копенгагене всего лишь за 2 года (с 2012-го по 2014-й) увеличилась с 36% до 45% (от общего объема использования всех видов транспорта)¹⁸.

Революция технологий, начавшаяся примерно 10 лет назад с распространением электромобилей, продолжается с появлением Uber-like-такси, каршеринга, карпулинга, байкшеринга, появлением целого «зоопарка» портативных транспортных средств (гироскутеров, электросамокатов, электровелосипедов и т.п.). Новыми технологиями, способными повлиять на транспортный спрос, также являются: перевозка товаров дронами, беспилотными наземными роботами, 3D-принтеры (смещающие производство товаров ближе к потребителю), создание продвинутых оптимизированных логистических схем (как в сфере доставки товаров, так и в сфере вывоза отходов). Многообещающим с точки зрения увеличения скорости сообщения, снижения дорожного травматизма, уменьшения времени ожидания, экологической нагрузки, требуемого места для парковки, потребности в энергетических ресурсах являются беспилотные электромобили.

Сейчас, когда новые технологии только проходят проверку временем, сложно сказать, какие из них будут лидировать. Скорее всего, у каждого города в зависимости от климата, размеров и топографии, культурных традиций, существующей застройки будет свой «коктейль» из применяемых транспортных средств. Конкретный «рецепт» можно предлагать только для конкретного города или региона в отдельности. Тем не менее все эти тенденции в среднесрочной и долгосрочной перспективах дают очень хорошие предпосылки для экологизации перевозок, улучшения их качества и снижения использования топлива.

Достаточно много неопределенных факторов будут иметь влияние на использование транспортной инфраструктуры в будущем, таких как распространение удаленной работы, виртуализация жизни, урбанизация и распространение модели проживания за городом, возможное распространение энергорасходной малой авиа-

¹⁶ IEA 2016, World Energy Outlook, <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2016>

¹⁷ Renewables 2017: Global Status Report, <http://www.ren21.net/gsr-2017/pages/summary/summary>

¹⁸ The City of Copenhagen (2014). Copenhagen City of Cyclists: the Bicycle Account 2014. Retrieved 30.07.2017, <http://www.cycling-embassy.dk/wp-content/uploads/2015/05/Copenhagens-Bicycle-Account-2014.pdf>

ции и т.д. В то же время снижение стоимости транспортных услуг, связанное с улучшением их эффективности, а также увеличение экономического благосостояния общества может спровоцировать рост количества перевозок, которые должны сдерживаться механизмами управления спросом.

1.3. Технические и поведенческие меры, направленные на сокращение энергопотребления в транспортном секторе

В данном разделе представлены¹⁹ технические и поведенческие меры, направленные на сокращение энергопотребления в транспортном секторе. Понимание мотивов граждан и их поведения имеет ключевое значение. Устойчивое развитие зависит от нашего образа жизни. Оно определяется нашим образом жизни, а также тем, как наше окружение влияет на принятие решений. Большинство людей принимают решения, которые они находят удобными и привлекательными. Развитие транспортного сектора в соответствии со сценарием Энергетической [р]еволюции при участии лишь небольшого количества идеалистов, которые всегда принимают правильные решения, не представляется возможным. Поэтому должны измениться, в частности, сами большие города, чтобы правильный выбор стал также и самым легким выбором.

Авторы данного отчета поддерживают устойчивую мобильность при помощи трех различных подходов:

1. Рациональное использование: отказ от использования транспорта, когда в этом нет обоснованной необходимости, с помощью внедрения модели «компактного города».
2. Смена видов транспорта: стимулирование использования более устойчивых видов перемещения (таких как общественный транспорт, ходьба, езда на велосипеде) и отказа от использования частного автотранспорта.
3. Усовершенствование: наименее эффективные виды транспорта (например, частные легковые автомобили) должны стать максимально эффективными. Стратегическим принципом концепции городской мобильности, который способствует устойчивой мобильности, является качество городской среды, включая улицы и пространство, которые должны стимулировать выбор в пользу устойчивой мобильности, что, в свою очередь, повышает качество жизни, делая ее безопасной, экономически эффективной, устойчивой и инклюзивной (Greenpeace Germany, 2015)²⁰:

¹⁹ Этот раздел был адаптирован на основе соответствующего раздела Прогноза устойчивого развития мировой энергетики в рамках Энергетической [р]еволюции за 2015 год (Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015) с разрешения Гринпис интернэшнл.

²⁰ (Greenpeace Germany 2015): Greenpeace Strategy for Green Mobility; D. Moser /GPD; Gehl Architects Denmark 2015.

- снижение зависимости от частных автомобилей;
- устойчивые виды транспорта;
- более эффективное землепользование за счет увеличения плотности;
- многофункциональная застройка, которая формирует урбанизированные центры со смешанной транспортной системой, к которым легко добираться.

1.3.1. Этап 1: сокращение энергопотребления в транспортном секторе

Сокращение пользования транспортом подразумевает уменьшение величины «пассажиры-километр (пасс-км)» на душу населения, а также снижение уровня использования транспорта для осуществления грузовых перевозок. Объем грузовых перевозок существенно зависит от роста ВВП, и, соответственно, на него сложно воздействовать. Тем не менее улучшение логистики, например, за счет оптимизации профиля нагрузки грузовых автомобилей и переключение на продукцию местного производства может сократить спрос на транспортные услуги.

Пассажирские перевозки

Пассажирские перевозки малотоннажными (легковыми) автомобилями (LDV)²¹ являются энергоемкими как в абсолютном, так и в относительном выражении. Для сокращения величины пассажиры-километров, преодолеваемых отдельными видами транспорта, и сокращения энергопотребления нужны определенные меры государственной политики.

Ими могут быть:

- введение специальных сборов и налогов, которые увеличивают стоимость перевозок, осуществляемых частным транспортом;
- ценовые стимулы для использования общественного транспорта;
- создание и совершенствование систем общественного транспорта;
- стимулы работать из дома;
- стимулирование использования видеоконференций для проведения деловых встреч;
- развитие велосипедных дорожек в городах.

Переход от использования энергоемкого частного транспорта к общественному транспорту с низким потреблением энергии взаимосвязан с увеличением показателя пассажиры-километров, преодолеваемых общественным транспортом с низким потреблением энергии.

²¹ Включают автомобили для пассажирских перевозок, универсалы, пикапы, минивэны (до 8 мест).

Грузовые перевозки

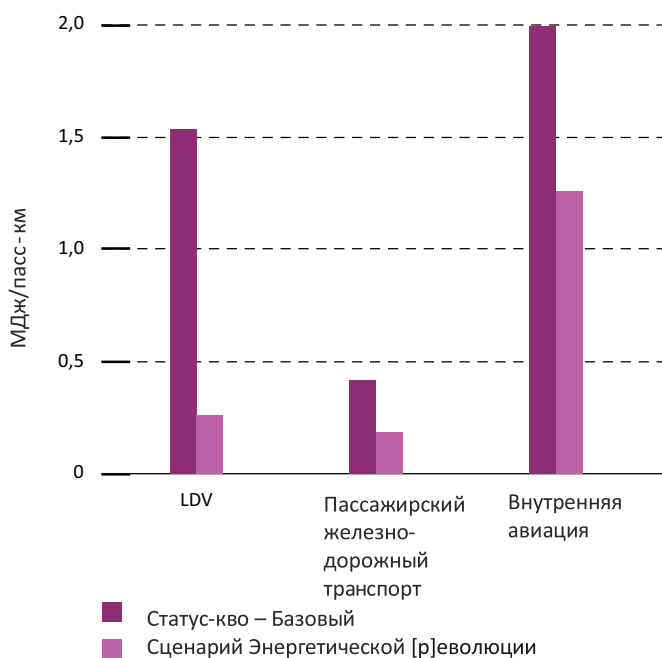
Трудно оценить сокращение грузовых перевозок. Сценарии Энергетической [р]еволюции не включают модель, при помощи которой можно было бы уменьшить количество необходимых грузовых перевозок, однако предполагается отказ от автомобильного транспорта в пользу железнодорожного транспорта и/или электромобилей либо электромобилей на топливных элементах.

1.3.2. Этап 2: изменение видов транспорта

Пассажирские перевозки

Наиболее энергоэффективным является железнодорожный транспорт, но автомобильный транспорт интенсивно развивается. На рис. 1.1 приведено среднее по миру удельное энергопотребление (энергоёмкость) по каждому виду транспорта по состоянию на базовый год и прогнозный показатель к 2050 году согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. Данные по каждому региону различаются. Наблюдается существенная разница в энергопотреблении между видами транспорта. В пересчете на пассажиро-километры пассажирский железнодорожный транспорт к 2050 году будет потреблять на 28% меньше энергии, чем легковые автомобили, и на 85% меньше, чем авиационный транспорт, поэтому отказ от использования автомобильного транспорта в пользу железнодорожного имеет высокий потенциал в части энергосбережения.

Рис. 1.1. Среднее по миру (взвешенное на подвижной состав) удельное энергопотребление пассажирским транспортом по состоянию на сегодня и к 2050 году

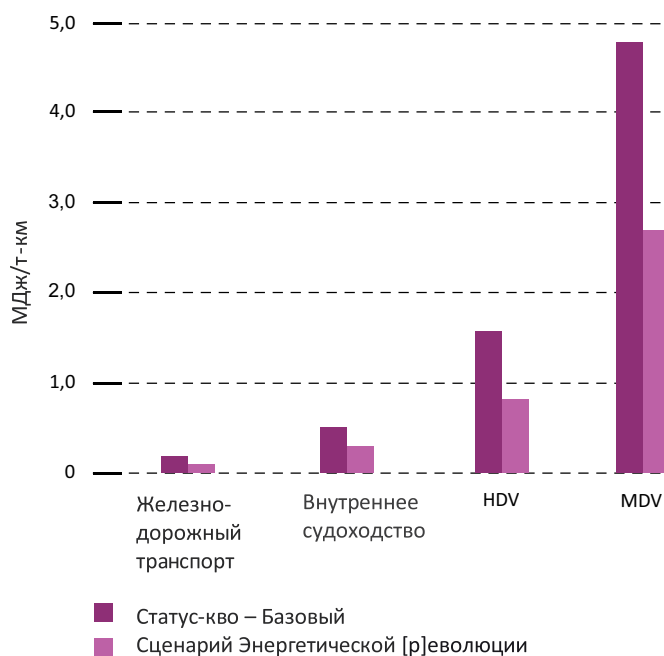


Из рис. 1.1 можно сделать вывод, что пассажирам придется перейти от использования автомобилей и особенно авиационного транспорта к использованию менее энергоёмкого пассажирского железнодорожного транспорта, чтобы сократить энергопотребление транспортного сектора. Сценарий Энергетической [р]еволюции предполагает, что некоторая доля пассажиро-километров местных и внутрирегиональных авиационных перевозок (т.е. перевозок между двумя странами одного региона МЭА) может быть заменена скоростным железнодорожным транспортом (СЖТ). Если говорить о международных авиационных перевозках, то их, очевидно, будет невозможно заменить перевозками при помощи каких-либо других видов транспорта.

Грузовые перевозки

Как и в случае, продемонстрированном на рис. 1.1, где отображено среднее удельное энергопотребление пассажирскими видами транспорта, на рис. 1.2 приведено соответствующее энергопотребление разными грузовыми видами транспорта по состоянию на 2009 год и к 2050 году согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. Показатели являются средневзвешенными с учетом пропускной способности и эффективности. Ожидается, что удельное энергопотребление всех видов транспорта к 2050 году снизится. В абсолютном выражении автомобильный транспорт имеет наибольший прирост энергоэффективности, поскольку железнодорожный и водный транспорт остаются видами транспорта с наименьшим относительным энергопотреблением в пересчете на тонно-километр (т-км) в относительном выражении. Железнодорожный грузовой транспорт будет потреблять на 80-90% меньше энергии на 1 т-км в 2050 году, чем крупнотоннажные грузовые автомобили (HDV) при перевозках на дальние расстояния. Это означает, что переход от использования автомобильного транспорта к железнодорожному имеет высокий потенциал в области энергоэффективности.

Рис. 1.2. Среднее по миру (взвешенное на подвижной состав) удельное энергопотребление грузовым транспортом по состоянию на сегодня и к 2050 году



Изменение видов транспорта для грузоперевозок

Что касается изменения видов транспорта для грузоперевозок в рамках сценария Энергетической [р]еволюции, необходимо максимально отказаться от автомобильного транспорта в пользу менее энергоемкого железнодорожного. Это позволит достичь максимально возможного уровня энергосбережения в результате переключения с одного вида транспорта на другой.

Учитывая, что товары, которые перевозятся среднетоннажными грузовыми автомобилями (MDV), как правило, транспортируются на расстояния, ограничивающиеся пределами определенного региона (и, соответственно, их перевозка железнодорожным транспортом, который используется для осуществления грузовых перевозок на большие расстояния, не имеет смысла), для таких перевозок смена вида транспорта не предполагается. Однако крупнотоннажные грузовые автомобили, осуществляющие перевозки на дальние расстояния, в частности тяжелых товаров с малой объемной массой, следует заменить железнодорожным транспортом (Tavasszy 2011)²².

1.3.3. Этап 3: технические решения, направленные на повышение энергоэффективности

Повышение энергоэффективности представляет собой третий важный метод сокращения энергопотребления транспортным сектором. Как правило, неотъемлемой частью плана по снижению энергопотребления является увеличение коэффициента загрузки как грузового, так и пассажирского транспорта. Чем выше будет коэффициент загрузки тем меньше понадобится транспортных средств для осуществления перевозок. Таким образом, энергоемкость уменьшается в пересчете на пассажиро-километры и тонно-километры (т-км). В авиации уже принимаются сложные решения, направленные на оптимизацию фактора загрузки. Тем не менее, если говорить о других видах транспорта, таких как автомобильный и грузовой железнодорожный транспорт, их потенциал в этом направлении все еще остается огромным. Коэффициент загрузки в сфере грузовых перевозок можно улучшить при помощи планирования логистики и цепочки поставок, в то время как более полное использование соответствующего потенциала приведет к аналогичному результату в сфере пассажирских перевозок.

Авиационные перевозки

Исследование, проведенное NASA²³, указывает на то, что энергопотребление новых сверхзвуковых самолё-

тов к 2035 году может сократиться на 58%. Благодаря использованию биотоплива можно достичь сокращения выбросов CO₂ на 81%. Akerman (2005)²⁴ в своем исследовании заявляет о наличии технически обоснованной возможности сократить потребление топлива на 65% к 2050 году.

К основным технологиям, при помощи которых можно сократить потребление топлива, относятся:

- аэродинамические улучшения, позволяющие сократить аэродинамическое сопротивление самолета, например, улучшенное управление ламинарным обтеканием, использование ребер и многофункциональных конструкций, сокращение количества крепежных деталей, уменьшение размера обтекателей закрылков и хвостового оперения, а также передовые технологии сверхкритического профиля;
- конструкционные технологии, направленные на уменьшение веса самолета с одновременным увеличением жесткости его корпуса. В качестве примера можно привести использование новых легких материалов, таких как улучшенные металлические, композитные и керамические материалы, улучшенных покрытий, а также улучшенное проектирование многофункциональных, сборных конструкций;
- системные технологии, включая улучшенное управление питанием и генерированием энергии наряду с оптимизированной авиационной электроникой и электропроводкой;
- технологии в области силовых установок, например, усовершенствованные газовые турбины для более эффективного управления воздушным судном.

Последние могут включать:

- меры, направленные на повышение эффективности сжигания топлива, улучшение материалов горячих и холодных секций, а также использование лопаточных/лопастных турбин;
- изучение электрических двигателей, двигателей на базе топливных элементов и газовых турбин, а также гибридных двигателей на основе газовых турбин;
- технологии электрической тяги включают улучшенные легковесные двигатели, контроллеры двигателей и оборудование для поддержания требуемого качества электроэнергии (ICAO 2008)²⁵.

Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, в будущем показатель удельного энергопотребления самолетами в пересчете на пассажиро-километры улучшится на 50% к 2050 году по сравнению с текущим уровнем.

²² Tavasszy, L. and Van Meijeren, J. (2011): Modal shift target for freight transport above 300 km: an assessment, discussion paper, 17th ACEA SAG meeting.

²³ Bradley, M. and Droney, C. (2011): Subsonic Ultra Green Aircraft Research: Phase I Final Report, issued by NASA.

²⁴ Akerman, J. (2005): Sustainable air transport – on track in 2050. Transportation research part d, 10, 111-126.

²⁵ (ICAO 2008): Committee on aviation environmental protection (CAEP), steering group meeting, FESG CAEP/8 traffic and fleet forecasts.

Пассажирские и грузовые поезда

Пассажирские и грузовые железнодорожные перевозки сегодня являются одним из наиболее энергоэффективных видов перевозок. Тем не менее удельное потребление энергии поездами можно дополнительно сократить. Помимо оперативных мер и мер государственной политики, направленных на сокращение энергопотребления, таких как увеличение коэффициента загрузки поездов, также необходимо предпринять технологические меры по снижению энергопотребления поездами в будущем. К основным технологиям, при помощи которых можно будет достичь этой цели, относятся:

- уменьшение общего веса поездов как наиболее важная мера, направленная на уменьшение потребления энергии. Благодаря использованию облегченных конструкций и материалов можно сократить потребление энергии, необходимой для преодоления инерционного сопротивления и сопротивления движению на подъём, а также трение от тяговых сопротивлений;
- аэродинамические улучшения, направленные на уменьшение аэродинамического сопротивления, что особенно важно при движении с высокой скоростью. Сокращение аэродинамического сопротивления, как правило, достигается за счет придания составу обтекаемой формы;
- переход от использования тепловозов (дизельных) к использованию более энергоэффективных электропоездов;
- усовершенствования системы тяги для дальнейшего снижения потерь энергии на трение. Технические решения включают в себя улучшения основных компонентов и программного обеспечения управления энергопотреблением;
- рекуперативное торможение для регенерации потерянной энергии. Данная энергия может быть возвращена в электросеть либо аккумулироваться на борту поезда в аккумуляторах. Рекуперативное торможение является особенно эффективным в случае пригородных перевозок с большим количеством остановок;
- оптимизация использования пространства для достижения более эффективного энергопотребления, выраженного в пассажиро-километрах. Проще всего достичь этой цели можно за счет увеличения количества пассажиров, перевозимых одним поездом, т.е. за счет увеличения среднего коэффициента загрузки, использования более гибких и коротких поездных секций или двухъярусных поездов на наиболее популярных направлениях;
- совершенствование дополнительного оборудования, в частности обеспечивающего комфорт пассажиров.

Разработка нового отопительного и охлаждающего оборудования имеет высокий потенциал в области энергоэффективности. Некоторые стратегии в области энергоэффективности предусматривают изменение конструкций кабины, воздухозаборников, а также использование отработанного тепла, выделяемого в результате трения. Проект «Поезда нового поколения» (Next Generation Train, DLR), изучающий технологии для создания современных скоростных поездов, ставит перед собой цель сократить в будущем удельное энергопотребление,

выраженное в пассажиро-километрах, на 50% по сравнению с существующими скоростными поездами. В качестве исходных данных для моделирования в рамках сценария Энергетической [р]еволюции используются данные об удельном энергопотреблении (Tosca 2011)²⁶ поездами на электрической и дизельной тяге в Европе. Эти данные отображают реальную ситуацию по состоянию на 2009 год, а также прогнозы на 2025 и 2050 годы. При расчете показателей удельного энергопотребления для каждого региона (МДж/пасс-км) на 2012 год и на период до 2050 года учитывались коэффициенты эффективности и доли дизельного/электротранспорта в общем объеме перевозок по каждому региону. Такая же методология применялась для грузового железнодорожного транспорта. По состоянию на сегодняшний день удельное потребление энергии электропоездами в 2-3,5 раза ниже, чем поездов на дизельной тяге, в зависимости от конкретного типа железнодорожного транспорта. Соответственно, прогноз развития на период до 2050 года по сценарию Энергетической [р]еволюции предусматривает массовый переход от дизельной к электротяге.

Грузовые автомобили большой и средней тоннажности (грузовые перевозки автомобильным транспортом)

Автомобильные грузовые перевозки являются основой логистики во многих регионах мира. Но наряду с воздушными грузовыми перевозками они являются наиболее энергоэффективным способом перевозки грузов. Тем не менее постепенно достигается определенный прогресс в области повышения эффективности привода, легковесных конструкций, альтернативных силовых агрегатов, видов топлива и т.д.

Сценарий Энергетической [р]еволюции предусматривает существенное изменение доли грузовых автомобилей средней (MDV) и крупной (HDV) тоннажности на рынке грузовых автомобильных перевозок. На сегодняшний день MDV и HDV оснащены преимущественно двигателями внутреннего сгорания, работающими главным образом на дизельном топливе, при этом небольшая доля MDV оснащена двигателями внутреннего сгорания, работающими на бензине или газе (сжатый природный газ и сжиженный нефтяной газ). Модель Энергетической [р]еволюции предусматривает в этом сегменте резкий переход к использованию электромобилей и грузовых автомобилей на водородных топливных элементах к 2050 году.

Согласно модели, разработанной DLR, MDV с электрическим двигателем будут преимущественно включать грузовые автомобили на батареях, а также некоторое количество грузовых автомобилей с гибридными электрическими двигателями. Гибридные электрические двигатели также вытеснят традиционные двигатели внутреннего сгорания в сегменте крупнотоннажных грузовых автомобилей. Кроме того, согласно сценарию Энергетической [р]еволюции сектор HDV будет включать как электрические грузовые автомобили, питание которых осуществляется при помощи подвесной контактной системы, так и электромобили на батареях.

²⁶ Tosca (2011): Technology opportunities and strategies toward climate-friendly transport (reports).

Помимо парка электрических грузовых автомобилей сценарий Энергетической [р]еволюции предусматривает также создание парка MDV и HDV на водородных топливных элементах. Эта технология представляется особенно выгодной для осуществления грузовых перевозок на большие расстояния, при которых нет возможности использовать подвесную контактную систему и запас хода на батареях является недостаточным. Среднее удельное энергопотребление MDV и HDV по сценарию Энергетической [р]еволюции было выведено на основании данных МЭА об удельном потреблении энергии MDV и HDV для каждого региона к 2050 году (WBSCD 2004)²⁷.

Легковые автомобили

Для улучшения эффективности использования топлива легковыми автомобилями может быть использовано большое количество технологий. В качестве приме-

ров можно привести усовершенствование двигателей, уменьшение веса автомобилей, а также уменьшение трения и улучшение аэродинамических показателей. Различные меры могут оказать существенное воздействие на эффективность использования топлива легковыми автомобилями.

В таблице 1.1 продемонстрирован потенциал улучшения энергоэффективности пассажирского транспорта к 2050 году согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. Из нее следует, что возможность улучшения энергоэффективности по различным видам транспорта находится в диапазоне от 30% до 500%. Наибольший прогресс возможен для легковых автомобилей и малотоннажных транспортных средств. Подобный технический потенциал характеризует и транспорт Беларуси, целиком импортирующей легковые транспортные средства и использующей грузовой и пассажирский транспорт собственного производства с характеристиками, сравнимыми с общеевропейскими.

Таблица 1.1. Технический потенциал по повышению эффективности пассажирского транспорта на глобальном уровне

МДж/пасс-км	Статус-кво	Э[Р] 2050
Малотоннажные транспортные средства	1,5	0,3
Авиационные перевозки (внутренние)	2,5	1,2
Автобусы	0,5	0,3
Микроавтобусы	0,5	0,3
Двухколесный транспорт	0,5	0,3
Трехколесный транспорт	0,7	0,5
Пассажирский железнодорожный транспорт	0,4	0,2

²⁷ (WBSCD 2004) World Business Council for Sustainable Development.



2

Концепция Энергетической [р]еволюции

- Разработка сценария Энергетической [р]еволюции
- Алгоритм Энергетической [р]еволюции
- Пятиэтапная реализация
- Этап 1: энергоэффективность и справедливое распределение энергетических ресурсов
- Этап 2: революция возобновляемой энергетики
- Этап 3: транспортная революция
- Этап 4: интеллектуальная инфраструктура для непрерывного 24/7 энергообеспечения за счет возобновляемых источников энергии
- Этап 5: новые инструменты государственной политики для внедрения новых бизнес-моделей



2.1. Разработка сценария Энергетической [р]еволюции

В этом разделе²⁸ приведены пояснения к базовым принципам и стратегическому подходу разработки концепций Энергетической [р]еволюции, которые служат основой для моделирования сценария после его первой публикации Гринпис интернэшнл в 2005 году. Серия публикаций Энергетической [р]еволюции для различных стран и регионов основывается на семиэтапном алгоритме – от оценки ограничения потенциала природных ресурсов до прогнозирования ключевых драйверов энергопотребления и потенциала в области энергоэффективности, анализа имеющихся технологий и потенциала их рыночного развития, а также конкретных мер государственной политики, необходимых для реализации теоретических принципов в условиях реальных рынков. Тем не менее эта концепция постоянно совершенствуется по мере развития технологий и появления новых технических и экономических возможностей.

Эти 7 этапов представлены ниже:

1. Определение ограничений природных ресурсов в контексте климатической системы и топливных ресурсов.
2. Определение ограничений потенциала возобновляемой энергетики.
3. Определение драйверов потребления.
4. Определение потенциала отраслей в области энергоэффективности.
5. Установление сроков реализации.
6. Определение необходимой инфраструктуры.
7. Определение необходимых инструментов государственной политики.

2.2. Алгоритм Энергетической [р]еволюции

1. Определение ограничений природных ресурсов

Постепенный отказ от ископаемого топлива. Геологические ресурсы угля могут обеспечить нас топливом на несколько сотен лет, но, сжигая их, мы не сможем ограничить изменение климата в безопасных пределах. Соответственно, сначала необходимо постепенно отказаться от использования лигнита, который является наиболее углеродсодержащим видом угля, а затем и от каменного угля. Использование нефти будет сокращаться постепенно по мере выработки существующих нефтяных скважин, а также при условии отказа от разработки новых глубоководных и арктических/антарктических нефтяных скважин. Ситуация с добычей газа будет разви-

ваться аналогичным образом, как и в случае с нефтью, при этом газ будет последним видом ископаемого топлива, от использования которого постепенно откажется человечество.

Сокращение энергетических выбросов диоксида углерода до нуля к середине столетия. Атмосфера может поглотить лишь определенное количество выбросов парниковых газов. Каждый год мы выбрасываем в атмосферу ПГ в объеме почти 30 млрд т углеродного эквивалента. Сценарий Энергетической [р]еволюции предусматривает постепенное сокращение выбросов CO₂ (от энергетического сектора) до нуля к 2050 году. Кроме того, региональный переход к безуглеродному энергообеспечению направлен на достижение справедливого распределения энергетических ресурсов – переход к более справедливому распределению эффективно используемых ресурсов, как только это станет возможным с технологической точки зрения. К 2040 году выбросы CO₂ на душу населения должны составлять в среднем от 0,5 до 1 т.

2. Определение ограничений потенциала возобновляемой энергетики

Ресурсы возобновляемой энергии – планирование будущего энергетического баланса. Пять возобновляемых источников энергии (солнечная и ветровая энергия, энергия воды, геотермальная энергия и энергия океана) доступны в разных объемах в зависимости от конкретного региона мира и сезона. Специализированные карты потенциала возобновляемой энергии для каждой страны мира доступны из публикаций нескольких научно-исследовательских институтов. Аэрокосмический центр Германии (DLR) принимает участие в проекте глобального планирования Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), который предоставляет подробную информацию по всем возобновляемым источникам энергии (IRENA-Global Atlas 2015)²⁹. Различные региональные возобновляемые источники энергии оказывают воздействие на прогнозируемый энергетический баланс в сценариях Энергетической [р]еволюции. Обзор существующего потенциала возобновляемой энергии в Беларуси представлен в главе 5.2.6.

Биоэнергетика – важный ресурс с ограниченным потенциалом устойчивого развития. Биоэнергетика необходима для замены ископаемого топлива в условиях отсутствия альтернативных технических решений. В сценариях Энергетической [р]еволюции биоэнергетика используется в особенности для получения промышленного технологического тепла, в авиации, судоходстве и тяжелом машиностроении. Гринпис определил глобальный потенциал устойчивой биоэнергетики в научном исследовании 2008 года на уровне от примерно 80 до максимум 100 ЭДж в год (DBFZ 2008)³⁰. Тем не менее общий потенциал устойчивой энергетики зависит от изменений, обусловленных научно-техническим развити-

²⁸ Этот раздел был адаптирован на основе соответствующего раздела доклада «Энергетическая [р]еволюция: прогноз устойчивого развития мировой энергетики – 2015» (Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015) с разрешения Гринпис интернэшнл.

²⁹ (IRENA-Global Atlas 2015) Global Atlas for Renewable Energy; International Renewable Energy Agency (IRENA); Abu Dhabi /UAE; Bonn/Germany; <http://irena.masdar.ac.ae/#>; July 2015.

³⁰ (DBFZ 2008); Global biomass potentials – investigation and assessment of data – remote sensing in biomass potential research – country specific energy crop potential; Seidenberger et. al; Deutsches Biomasseforschungszentrum; Leipzig/Germany, June 2008.

ем и/или изменениями в способе применения. Увеличение использования биомассы в производстве, например пластмассы, приведет к сокращению ресурсов, доступных для преобразования энергии.

3. Определение драйверов потребления

Равенство и справедливый доступ к источникам энергии для всех. Прогнозы будущего энергопотребления сосредоточены на справедливом распределении выгод и расходов между народами, а также нынешним и будущим поколениями. Треть населения мира не имеет доступа к электрической энергии, в то время как большинство индустриализированных стран потребляют гораздо больше, чем им следовало бы с точки зрения справедливости. Концепция Энергетической [р]еволюции предусматривает энергообеспечение при равном уровне жизни для каждого человека к 2050 году при условии, что будет иметь место необходимое экономическое развитие.

Устранение связи между использованием ископаемого топлива и экономическим ростом. Прогнозы экономического роста основаны на оценках Прогноза мировой энергетики Международного энергетического агентства (МЭА). Связь между экономическим ростом и использованием ископаемого топлива должна быть полностью устранена, в первую очередь в развитых странах. Мнение, что экономический рост следует связывать с увеличением количества сжигаемого ископаемого топлива, является ошибочным.

4. Определение потенциала энергоэффективности по секторам экономики

Энергия, которая не используется, является самой дешевой. Существует необходимость в рациональном использовании энергии. Электроприборы, производственные процессы, отопление и охлаждение зданий, а также все виды транспортных технологий все еще располагают существенным потенциалом энергоэффективности. Новые имеющиеся технологии внедряются во всех секторах в пределах обычных темпов замещения. Сценарий Энергетической [р]еволюции сосредоточен, скорее, на энергоэффективности, чем на достаточности электроэнергетического сектора и сектора отопления/охлаждения. Транспортный сектор нуждается в принципе достаточности, особенно в части использования частных автомобилей и авиации. Смена видов транспорта в виде перехода от использования автомобильного и авиационного транспорта к использованию железнодорожного транспорта каждый раз, когда существует такая возможность, является примером применения принципа достаточности.

5. Установление сроков реализации

Не существует дефицита возобновляемой энергии как такового. Солнце ежедневно посылает на поверхность Земли больше энергии, чем мы потребляем за год. Однако технологии возобновляемой энергии нуждаются в проектировании, установке и эксплуатации, для чего необходима квалифицированная рабочая сила, финансовые ресурсы и адаптированные энергетические политики. Для осуществления перехода от системы энергообеспечения на основе ископаемого топлива к системе на основе ВИЭ потребуется время. Сценарии Энергетической [р]еволюции учитывают предыдущий опыт при

определении темпов развития технологий возобновляемой энергетики. В частности, опыт Дании, Германии и Китая на протяжении последнего десятилетия продемонстрировал, что для подготовки специалистов, а также создания необходимых промышленных объектов и инфраструктуры требуется некоторое время. Поспешное развитие возобновляемой энергетики, выдающей низкокачественную продукцию, приносит больше вреда для осуществления долгосрочного перехода, чем пользы. Поэтому сценарии Энергетической [р]еволюции являются амбициозными, но реалистичными. Первые десять лет прогноза развития ВИЭ основываются на отраслевых прогнозах, таких как прогнозы Глобального совета по ветроэнергетике (GWEC 2015)³¹ и Европейской ассоциации по солнечной энергетике (SPE 2015)³².

6. Определение необходимой инфраструктуры

Интеллектуальные энергосети (smart grids) имеют ключевое значение, так же как и интеграция солнечной и ветровой энергетики. Увеличение долей генерирующих мощностей распределенной солнечной и наземной ветровой энергетики, подключенных к распределительным и средневольтным сетям, а также генерирующих мощностей морских ветровых и концентрированных солнечных станций, подключенных к линиям электропередачи, требует развития инфраструктуры как с точки зрения физической установки, так и управления (Brown et. al. 2014)³³. Кроме того, распределение генерирующих мощностей между различными уровнями напряжения требует расширения электросетей и/или возможностей диспетчеризации (Teske 2015). Существующие газовые трубопроводы и хранилища могут быть использованы для транспортировки и хранения возобновляемого водорода и/или метана. Таким образом, существующие газовые электростанции могут быть использованы в качестве диспетчерских установок, чтобы избежать неоправданных инвестиций.

Аккумуляция — следующий важный этап. Развитие электрических автомобилей послужило толчком для дальнейших разработок технологий аккумуляции энергии, в особенности батарей. Увеличение долей ветровой и солнечной энергетики придали новый импульс изучению и рыночному развитию технологий аккумуляции энергии, таких как водород, возобновляемый метан и гидроаккумулятирующие электростанции. Это привело к существенному улучшению аккумуляющих технологий. Тем не менее сценарии Энергетической [р]еволюции направлены на минимизацию потребностей в аккумуляции на протяжении следующего десятилетия, поскольку расходы в этом периоде, как ожидается, останутся высокими. В среднесрочной и долгосрочной перспективе возникнет необходимость в технологиях аккумуляции энергии, в частности для замены ископаемого топлива электрической энергией в транспортном секторе.

³¹ (GWEC 2015) Global Wind Report: Annual Market Update; Market Projection 2015 – 2019; Brussels/Belgium; May 2015.

³² (SPE 2015) Global Market Outlook for Solar Power 2015–2019; Solar Power Europe; Brussels/Belgium; May 2015.

³³ (Brown et. al. 2014) Optimising the European Transmission System for 77% renewables by 2030; Tom Brown, Peter-Philipp Schierhorn, Eckehard Tröster, Thomas Ackermann; Energy-nautics GmbH, Robert-Boschstrasse 7, 64293 Darmstadt, Germany.

7. Определение необходимых инструментов государственной политики

Новые энергетические рынки нуждаются в новых инструментах государственной политики. Климатическая и энергетическая политики должны быть неразрывно связаны между собой. РКИК ООН (см. главу 1.1) имеет ключевое значение для защиты климата на планете, а для достижения необходимого сокращения выбросов при помощи возобновляемых источников энергии и энергоэффективности не менее важны и национальные энергетические политики. Сценарии Энергетической [р]еволуции основываются на опыте, задокументированном в докладах по анализу инструментов государственной политики, проведенных такими организациями, как REN 21³⁴, IRENA³⁵ и МЭА.

2.3. Пятиэтапная реализация

В 2015 году возобновляемые источники энергии обеспечивали 19% от мирового конечного потребления энергии (см. рис. 2.1). Сегодня за счет возобновляемых источников, таких как солнечная энергия, энергия ветра и геотермальная энергия, обеспечивается 10% энергопотребления, и еще 9% обеспечивается за счет традиционной биомассы. Последняя часто наносит вред окружающей среде, и ее также следует заменить новыми возобновляемыми источниками энергии. Доля возобновляемой энергетики в производстве электроэнергии в 2015 году составила 24,5%. Однако приблизительно 78% производства первичной энергии все еще обеспечивается за счет ископаемого топлива.

Хорошие новости поступают со всех уголков мира: доли фотоэлектрической и ветровой энергии стремительно растут. В 2016 году наблюдался самый большой ежегодный рост мощностей ВИЭ (около 161 ГВт, что на 9% больше, чем в 2015 году), из которых солнечная энергия составляла 47%, а ветер и гидроэнергетика – 34% и 15,5% соответственно. Совокупная мощность достигла 2017 ГВт к концу

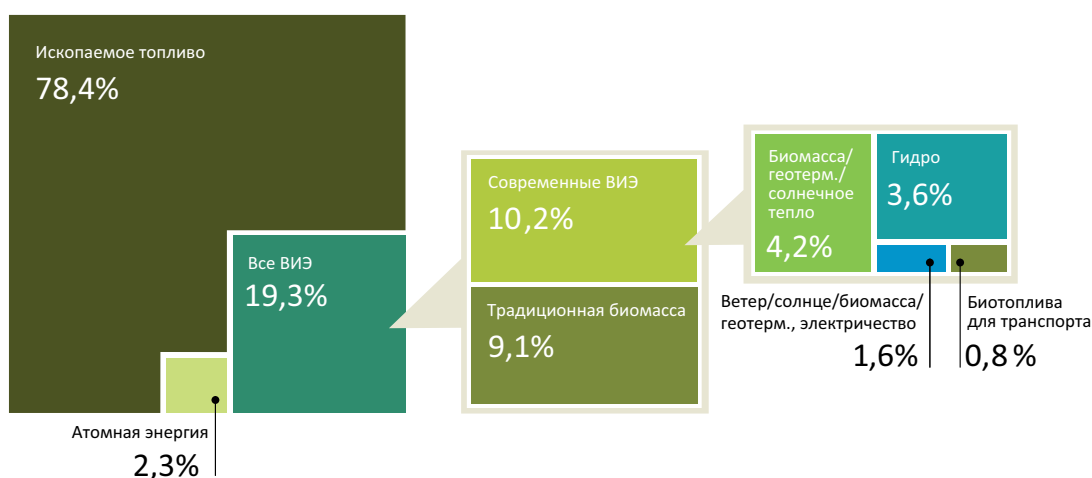
2016 года. В целом ежегодный прирост возобновляемых мощностей превышает количество новых мощностей на ископаемых источниках энергии вместе взятых.

На протяжении текущего десятилетия электроэнергетический сектор должен решить проблему новой модели энергопотребления – либо за счет ископаемого и ядерного топлива, либо при помощи эффективного использования возобновляемой энергии. Для удовлетворения мирового спроса сценарий Энергетической [р]еволуции предлагает политику и техническую модель развития возобновляемой энергетики и комбинированного производства тепловой и электрической энергии в совокупности с мерами по повышению энергоэффективности.

Развитие возобновляемой энергетики и когенерации, как в виде центральных электростанций, так и распределенных станций, должно опережать рост совокупного глобального энергопотребления. Оба подхода должны заменить устаревшие генерирующие технологии и обеспечить дополнительную энергию, в которой нуждаются развивающиеся страны.

Для создания необходимой инфраструктуры понадобится переходный этап, поскольку невозможно осуществить мгновенный переход от крупной энергетической системы, основанной на ископаемом и ядерном топливе, к энергообеспечению за счет исключительно возобновляемых источников энергии. Следует отметить, что обычный природный газ, используемый в соответствующим образом спроектированных когенерационных установках, имеет большое значение в качестве переходного топлива, а также может стимулировать экономически целесообразную децентрализацию энергетической инфраструктуры. С повышением летних температур тригенерация (технология, которая предусматривает использование теплопоглощающих охладителей для обеспечения охлаждающих мощностей в дополнение к производству тепловой и электрической энергии) станет важным средством для достижения целей по сокращению выбросов. Сценарий Энергетической [р]еволуции предусматривает переход от существующей структуры энергообеспечения к устойчивой системе.

Рис. 2.1. Оценочная доля возобновляемой энергии от глобального конечного потребления энергии в 2015 году



³⁴ REN21-2015, Renewables 2015 Global Status Report, Paris: ch. 4; REN21 Secretariat; www.ren21.net; ISBN 978-3-9815934-6-4.

³⁵ IRENA 2015, Renewable energy target setting, International Renewable Energy Agency; June 2015, http://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_target_setting_2015.pdf

2.3.1. Этап 1: энергоэффективность и справедливое распределение энергетических ресурсов

Сценарий Энергетической [р]еволюции предусматривает максимальное использование потенциала повышения энергоэффективности. Первоочередное внимание уделяется существующим передовым практикам и продуктам, а также возможным будущим технологиям, которые могут появиться при условии продолжения инновационных разработок. Сокращение энергопотребления достаточно равномерно распределяется между тремя секторами: промышленностью, транспортным и бытовым/коммерческим секторами. В основе философии Энергетической [р]еволюции лежит рациональное использование, а не полный отказ от использования энергии.

Наиболее важными решениями в области энергосбережения являются улучшение теплоизоляции и проектирования зданий, сверхэффективные электрические машины и механизмы, замена устаревших электрических систем отопления технологиями производства тепла при помощи возобновляемых источников энергии (например, солнечные коллекторы), а также сокращение энергопотребления автомобилями, используемыми для перевозки товаров и пассажиров.

К концу текущего десятилетия новые здания в Европе будут иметь практически нулевые выбросы углерода, что является отличным – пусть и немного запоздалым (технология «пассивный дом» доказала свою эффективность два десятилетия назад) – шагом вперед. Этот пример энергоэффективной архитектуры может использоваться во всех странах мира и практически в любых климатических условиях для сокращения потребления как тепла (например, в городах на юге Канады), так и холода (от Лас-Вегаса до Дубая). Однако наибольший эффект может быть достигнут не за счет строительства новых зданий, а за счет модернизации существующих. В этом направлении правительства должны ускорить темпы модернизации существующего жилого фонда, при этом модернизация всех зданий должна быть максимальной, если учитывать длительный срок их эксплуатации. Кроме того, комфорт, который обеспечивается при помощи такой архитектуры, делает жизнь и работу в таких зданиях удовольствием; рациональное использование энергии в таких зданиях, несомненно, ведет к улучшению качества жизни, а не отказу от использования энергии.

Резкое сокращение потребления первичной энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции по сравнению с Базовым при таком же демографическом развитии и росте ВВП является критически важным предварительным условием для достижения существенной доли возобновляемых источников энергии в общем энергообеспечении, что позволит компенсировать отказ от атомной энергии и сокращение потребления ископаемого топлива.

2.3.2. Этап 2: революция возобновляемой энергетики

Децентрализованные источники энергии и масштабное использование возобновляемых источников энергии

Децентрализованные источники энергии интегрированы в систему местной распределительной сети, к которой, как правило, подключены дома, офисы, а также малые предприятия. Сценарии Энергетической [р]еволюции экстенсивно используют распределенную энергию: энергия, которая производится в месте потребления или рядом с местом потребления. Мы определяем распределенное производство энергии как электростанции, подключенные к низковольтным и средневольтным линиям электропередачи со средним расстоянием передачи от нескольких сотен метров до около 100 километров. Существует несколько различных технологий, которые используются в распределенных электростанциях: солнечные, наземные ветровые турбины, русловые гидроэлектростанции, биоэлектростанции и геотермальные электростанции, а также, в перспективе, прибрежные океанические электростанции (см. рис. 2.2).

Доминирующим источником возобновляемой электрической энергии сегодня является ветроэнергетика, но фотовольтаика со временем догонит ее. Существенное сокращение стоимости солнечных крышных фотоэлектрических систем приводит к «сетевому паритету» практически во всех промышленно развитых странах. Таким образом, домохозяйства и малые предприятия могут производить свою собственную солнечную электрическую энергию с такими же или меньшими затратами, чем тарифы на электроэнергию, поставляемую энергосетями; производство электроэнергии на месте – термин, который обычно используется в промышленности, – сегодня приобретает экономический смысл для частного сектора.

Распределенное производство энергии также включает в себя автономные отопительные/охладительные системы, подключенные к системам центрального отопления или использующиеся для тепло- или холодоснабжения отдельного здания, например, солнечные тепловые коллекторы, отопительные системы, использующие энергию биомассы и (геотермальные) тепловые насосы. Будучи гибридными устройствами, использующими технологии возобновляемой энергии и энергоэффективности, тепловые насосы преобразовывают 1 единицу электрической энергии в 4 единицы тепла.

Все эти децентрализованные энергетические технологии могут быть запущены в коммерческое производство для обеспечения бытовых потребителей устойчивой низкоуглеродной энергией. Увеличение долей технологий распределенного производства энергии требует адаптации энергетических политик под «производящих потребителей» (prosumers) – потребителей, которые производят свою собственную энергию.

Это решение открывает целый новый рынок для фотоэлектрических батарей и приводит к кардинальному изменению бизнес-модели энергетических компаний. Те, кто в свое время поневоле были потребителями энергетических компаний, станут их конкурентами. Сценарии

Энергетической [р]еволуции предполагают, что частные потребители, а также малые и средние предприятия (МСП) будут обеспечивать большую часть потребления электрической энергии при помощи фотоэлектрических батарей и аккумулирования энергии в случае наличия площадей для установки системы.

Для обеспечения своих потребностей в электрической энергии промышленность и бизнес могут использовать когенерационные установки с целью производства электроэнергии на местах. Избыточная электроэнергия будет продаваться в сеть, в то время как избыточное тепло может закачиваться в соседние здания. Эта система известна как комбинированное производство тепловой и электрической энергии. В случае с таким топливом, как

биогаз, используется практически вся исходная энергия, а не только часть, как в случае с традиционными централизованными электростанциями, работающими на ископаемом топливе.

Хотя большая доля глобальной энергии в 2050 году будет производиться децентрализованными источниками энергии, для осуществления энергетической революции будут необходимы крупные объекты возобновляемой энергетики. Также понадобится централизованная возобновляемая энергия, которая будет обеспечивать технологическое тепло для промышленности, повышенное потребление энергии теплоэнергетическим и транспортным секторами, а также производство синтетического топлива для транспортного сектора.

Рис. 2.2. Децентрализованные источники энергии будущего

Существующие технологии могут способствовать созданию низкоуглеродных сообществ, как продемонстрировано на этом рисунке, при условии, что они будут применяться децентрализованно и параллельно с мерами по повышению энергоэффективности и сокращению выбросов парниковых газов до нуля. Электроэнергия должна вырабатываться при помощи эффективных технологий комбинированного производства тепловой и электрической энергии, которые поставляются потребителям при помощи местных сетей. Когенерация дополняет энергию, которая производится установками, интегрированными в здания. Энергетические решения нарабатываются при наличии благоприятных возможностей на местах, как в небольших, так и крупных сообществах. Город, продемонстрированный на этом рисунке, использует среди прочего ветровую энергию, а также энергию воды и биомассы. При необходимости может использоваться природный газ (при условии, что он будет применяться с очень высокой степенью эффективности).

- 1. Фотоэлектрические, солнечные фасады** будут использоваться в качестве декоративного элемента офисных зданий и жилых домов. Фотоэлектрические системы станут более конкурентоспособными, а их улучшенный дизайн позволит архитекторам найти им более широкое применение.
- 2. Модернизация может сократить потребление энергии старыми зданиями** на целых 80% за счет улучшенной теплоизоляции, теплоизолированных окон и современных вентиляционных систем.
- 3. Солнечные тепловые коллекторы** производят горячую воду как для зданий, в которых они установлены, так и для соседних строений.
- 4. Энергоэффективные когенерационные установки (КГУ)** будут иметь разные размеры – от небольших станций, установленных в подвале отдельного дома, до станций, обеспечивающих тепловой и электрической энергией целые жилые комплексы или многоквартирные дома без потерь при передаче.
- 5. Чистая электрическая энергия** для городов также будет поступать из отдаленных районов. Морские ветровые парки и солнечные электростанции в пустынях имеют огромный потенциал.

2.3.3. Этап 3: транспортная революция

Передвижение с помощью различных технологий и с меньшим потреблением энергии

Переход к 100%-ному использованию возобновляемых источников энергии является наиболее сложным в транспортном секторе. Сегодня около 92% потребления энергии транспортным сектором обеспечивается за счет нефти и лишь 1% за счет электроэнергии (IEA 2015)³⁶. Просто взять и заменить нефтепродукты на биоэнергию и электричество невозможно как с технической точки зрения, так и с точки зрения устойчивого развития. Осознавая необходимость развития общественного и частного электротранспорта, такого как поезда, автобусы, легковые автомобили и грузовые автомобили, — также следует переосмыслить наше текущее представление о мобильности как таковое. Проектирование мега-городов оказывает большое влияние на то, приходится ли людям преодолевать большое расстояние, либо же они могут добираться на работу пешком или на велосипеде (WFC 2014)³⁷. С другой стороны, рост численности городского населения создает благоприятные возможности для увеличения использования экологически чистых систем общественного транспорта. В области грузовых перевозок следует отказаться от использования автомобильного транспорта в пользу железнодорожного и, если возможно, от авиационного транспорта в пользу речного и морского. Для этого необходимо улучшить логистику, а также создать новые, более энергоэффективные, транспортные технологии.

Сценарии Энергетической [р]еволуции предусматривают эволюцию сектора легковых автомобилей. В первую очередь, необходимо использовать весь потенциал, который позволит сделать автомобили более легкими, а двигатели внутреннего сгорания более эффективными. Приблизительно к 2025 году рынок легковых автомобилей осуществит переход от гибридных автомобилей к электромобилям. По состоянию на сегодняшний день рынок электромобилей все еще находится в стадии зарождения, и все еще остаются нерешенными некоторые технические вопросы, в частности аккумуляирования энергии. Поэтому кардинальных изменений ситуации, ведущих к существенному сокращению потребления нефти, ранее 2025 года ожидать не стоит. Однако процесс технического развития необходимо начать сегодня, чтобы быть готовым к этим изменениям.

Использование биотоплива ограничено наличием биомассы, выращенной в соответствии с критериями устойчивости. Она должна быть, в первую очередь, предназначена для тяжелых машин и механизмов, авиации и морского транспорта, где электрическая энергия, как представляется, не сможет стать решением на протяжении нескольких ближайших десяти-

³⁶ IEA 2015, Energy and climate change – World Energy Outlook Special Report; International Renewable Energy Agency; May 2015.

³⁷ WFC 2014, Regenerative cities – Commission on Cities and Climate Change; Hafen City University, World Future Council; September 2014.

тилетий. Помимо транспортного сектора в биомассе нуждаются определенные отрасли промышленности для обеспечения технологического тепла и углерода, не говоря уже о ее использовании в качестве сырья за пределами энергетического сектора. Таким образом, электрические транспортные средства будут играть еще более важную роль в части повышения энергоэффективности на транспорте и замены ископаемого топлива после 2025 года.

В целом достижение экономически привлекательного роста возобновляемых источников энергии требует сбалансированной и своевременной мобилизации всех технологий. Такая мобилизация зависит от наличия ресурсов, потенциала для сокращения расходов и технологической зрелости. Кроме того, наряду с технологическими решениями изменение образа жизни – например, отказ от использования личных автомобилей в пользу общественного транспорта – имеет огромный потенциал для сокращения выбросов парниковых газов. К счастью, эти новые модели поведения будут восприниматься как улучшения, а не компромиссы – молодежь во всем мире сегодня все чаще предпочитает проводить время со своими смартфонами, путешествуя на автобусах и поездах, а не ездить за рулем собственных автомобилей.

2.3.4. Этап 4: интеллектуальная инфраструктура для непрерывного 24/7 энергообеспечения за счет возобновляемых источников энергии

Поскольку возобновляемая энергетика зависит преимущественно от природных ресурсов, которые не всегда бывают доступны, некоторые критики считают, что это делает ее непригодной для обеспечения больших объемов энергопотребления. Однако Дания в 2014 году произвела около 40% своей электрической энергии благодаря одной лишь ветроэнергетике, а Испания и Португалия – около четверти. Для адаптации к существенно большим долям возобновляемой энергии, прогнозируемым согласно сценарию Энергетической [р]еволуции, придется полностью реформировать энергетическую систему. Электросети, состоящие из кабелей и подстанций, при помощи которых электроэнергия подводится к нашим домам и заводам, были разработаны для крупных централизованных производителей, работающих под огромными нагрузками, и вырабатывают электроэнергию в базовом режиме. До сегодняшнего дня возобновляемая энергия не рассматривалась как новый компонент энергетического баланса и ей приходилось адаптироваться к условиям эксплуатации электросетей. Эту ситуацию необходимо изменить для реализации сценария Энергетической [р]еволуции.

Непрерывное 24/7 энергообеспечение за счет возобновляемых источников энергии возможно с технической и экономической точки зрения; для этого нужно всего лишь

разработать соответствующую государственную политику, а также обеспечить коммерческие инвестиции, чтобы сдвинуть дело с мертвой точки и оставаться на плаву (GP-EN 2014)³⁸. Задача интеграции технологий возобновляемой энергии в существующие энергетические системы аналогична для всех энергетических систем мира, будь то крупные, централизованные или островные системы.

Чтобы существующая генерация на постоянной основе покрывала потребление, необходимо тщательное планирование. Помимо обеспечения сбалансированности между энергообеспечением и энергопотреблением энергосистема должна также:

- соответствовать определенным стандартам качества электроэнергии – напряжение/частота, для чего в энергосистеме может понадобиться дополнительное техническое оборудование и поддержка со стороны различных вспомогательных служб;
- оставаться работоспособной в экстремальных ситуациях, таких как внезапные перебои в энергообеспечении (например, в результате неисправности на электростанции) или нарушения работы системы передачи.

Базовая нагрузка и балансирование энергосистемы

Балансирование энергосистемы направлено на поддержание постоянной частоты в системе. Частота в сети означает частоту, с которой электроэнергия переменного тока подается от генератора к конечному потребителю, и измеряется в герцах (Гц). Частота в системе изменяется в результате изменения нагрузки (спроса). Если энергосеть эксплуатируется на грани своей пиковой производительности, возможны быстрые изменения частоты, при этом резкие изменения могут возникать непосредственно перед серьезными

перебоями в электроснабжении. Как правило, энергосистемы проектировались вокруг крупных электростанций, которые обеспечивали мощность на покрытие базовой нагрузки при почти постоянной работе на полную мощность. Эти централизованные электростанции (как правило, атомные или угольные) представляют собой негибкие генерирующие ресурсы – они «не следуют за нагрузкой», т.е. не меняют свою производительность в соответствии с изменением потребления, как, например, регулируемые газовые турбины и гидроэлектростанции.

Энергетические системы с большим количеством нерегулируемых генерирующих ресурсов, например атомных электростанций, также требуют значительного количества регулируемых генерирующих ресурсов.

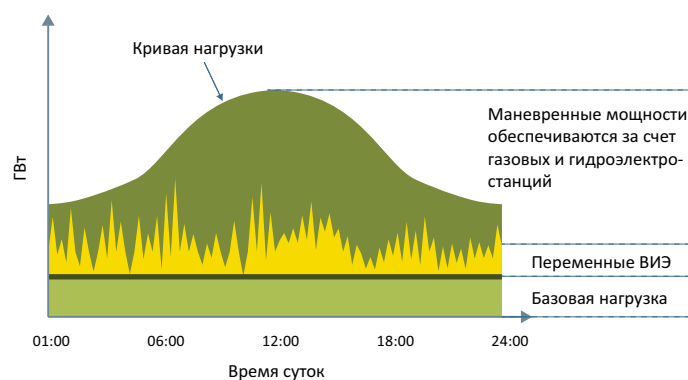
Приоритетная диспетчеризация возобновляемой энергетики положит конец базовой генерации

Возобновляемая энергетика, интегрированная в интеллектуальные электросети, меняет потребность в производстве электроэнергии при базовой нагрузке (см. рис. 2.3). Энергетический переход, основанный на возобновляемых источниках энергии, пересматривает потребность в выработке электроэнергии при базовой нагрузке. Вместо этого традиционные электростанции с базовой нагрузкой, например угольные, будут заменены совокупностью регулируемых производителей, которые могут круглосуточно «следовать за нагрузкой» (например, солнечные электростанции в сочетании с газовыми, ветровые и геотермальные электростанции, а также управление спросом) без отключения электроэнергии. Таким образом, базовая нагрузка обеспечивается каскадом регулируемых электростанций вместо базовых электростанций.

Рис. 2.3. Изменение подхода к электросетям

Существующая система энергообеспечения:

- незначительные доли переменной возобновляемой энергетики;
- базовые электростанции обозначены сплошной чертой внизу графика;
- электростанции на ВИЭ представляют собой изменяющийся слой, поскольку уровни ветровой и солнечной энергии изменяются на протяжении дня;
- газовые и гидроэлектростанции могут быть подключены или отключены в зависимости от спроса на электроэнергию. Такая комбинация является устойчивой за счет использования прогнозов погоды и разумного управления электросетями;
- описанная выше система энергообеспечения позволяет повысить долю переменной возобновляемой энергии в объеме до 25%.

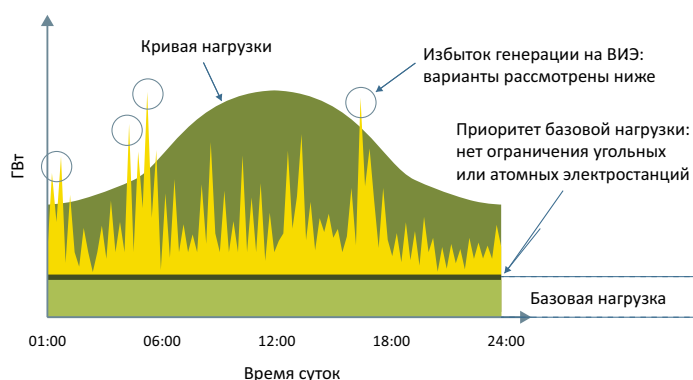


Для борьбы с изменением климата доля возобновляемой электроэнергии должна быть намного большей, чем 25%.

³⁸ (GP-EN 2014) Powe[R] 2030 -. A European Grid for 3/4 renewable electricity by 2030; Greenpeace International/Energynautics; March 2014

Система энергоснабжения с долей переменной возобновляемой энергии более 25% и приоритетом базовой нагрузки:

- этот подход позволяет увеличить долю возобновляемой энергетики, но оставляет приоритет за базовой нагрузкой;
- по мере своего увеличения энергообеспечение из возобновляемых источников энергии в определенный момент дня превысит потребление, в результате чего образуется избыточная электрическая энергия;
- до определенного момента эту проблему можно будет решить за счет аккумулирования энергии, передачи электроэнергии между районами, изменения потребления в течение дня или отключения генерирующих мощностей возобновляемой энергии во время пикового производства.



Этот подход будет неэффективным, если доля возобновляемой энергетики в энергетическом балансе превысит 50%, и не позволит достичь доли возобновляемой энергетики в энергетическом балансе в 90-100%.

Система энергоснабжения с долей переменной возобновляемой энергии более 25% и приоритетом электростанций на ВИЭ:

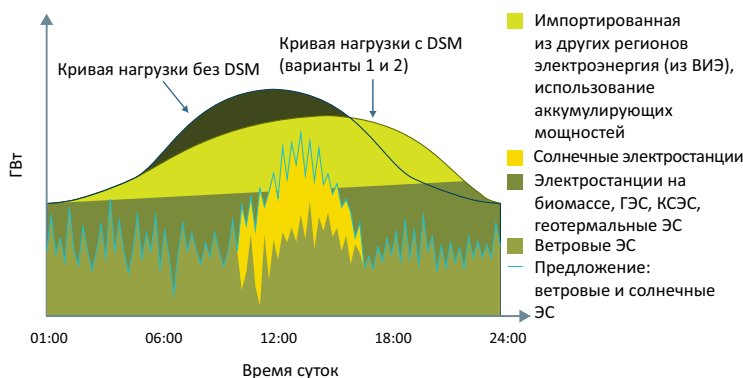
- этот подход позволяет увеличить долю возобновляемой энергии, но в качестве приоритета рассматривает экологически чистую энергию;
- если возобновляемая энергия получит приоритет в энергосетях, она «вклинится» в базовую нагрузку;
- теоретически атомные и угольные электростанции должны работать на пониженной мощности или быть полностью отключены от энергосети в моменты пикового энергоснабжения (в очень солнечную или ветреную погоду);
- существуют ограничения скорости, масштаба и частоты изменений отдаваемой мощности атомных и угольных электростанций (с CCS – технология улавливания и хранения углерода), которые продиктованы техническими соображениями и соображениями безопасности.



Этот подход не может быть избран в качестве решения, поскольку его будет сложно реализовать технически.

Решение — оптимизированная энергосистема с долей возобновляемой энергетики более 90%:

- полностью оптимизированная электросеть с 100%-ной долей возобновляемых источников энергии, которая аккумулирует и передает электроэнергию в другие регионы, управляет потреблением и ограничивает подачу электроэнергии только тогда, когда это необходимо;
- управление спросом (demand side management — DSM) перемещает пиковую нагрузку и «сглаживает» кривую потребления электрической энергии на протяжении дня.



Работает!

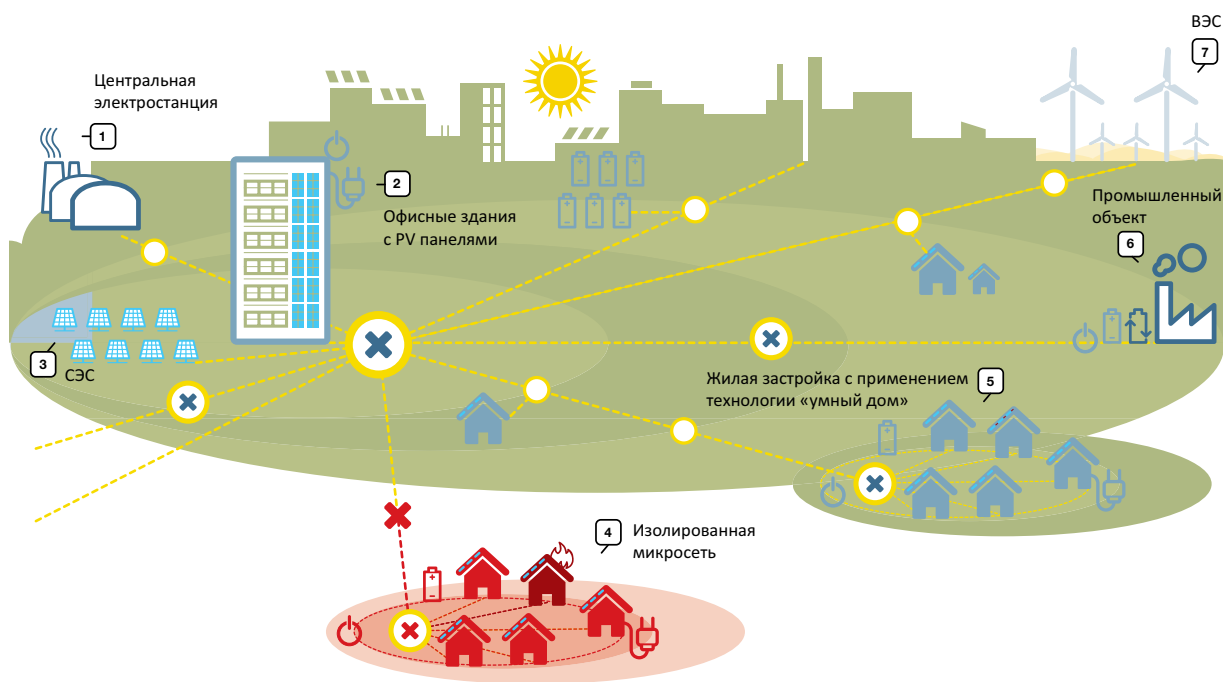
Источник: *Сценарий Энергетической [р]еволуции – 2012, Гринпис.*

Перспективы интеллектуальных энергетических сетей в контексте Энергетической [р]еволуции

Для создания энергетической системы, которая практически целиком состоит из возобновляемых источников энергии, потребуется новая объединенная архитектура

энергосистем, включая технологию интеллектуальных электросетей (Smart-Grid Technology), для появления которой предстоит приложить большие усилия (ECOGRID)³⁹. На рис. 2.4 приведено очень простое графическое изображение ключевых элементов будущих энергетических систем на основе ВИЭ с применением технологии интеллектуальных электросетей (GP-EN 2009)⁴⁰.

Рис. 2.4. Перспективы интеллектуальных электросетей в контексте Э[Р]



Процессоры

⊗ выполняют специальные схемы защиты за микросекунды

Датчики («в режиме ожидания»)

○ выявляют колебания и нарушения в энергосистеме и могут указывать на участки, которые необходимо изолировать

Датчики («активные»)

✗ выявляют колебания и нарушения в энергосистеме и могут указывать на участки, которые необходимо изолировать

Нарушение

🔥 в электросети

Интеллектуальные устройства

🔌 могут отключаться в случае колебаний частоты

Управление спросом

🕒 потребление можно переключить на периоды наименьшей нагрузки для экономии денежных средств

Генераторы

🔌 энергия, получаемая от малых генераторов и солнечных панелей, может сократить общее потребление в сети

Аккумуляция энергии

🔋 энергия, произведенная в периоды наименьшей нагрузки, может накапливаться в аккумуляторных батареях для последующего использования

Источник: *Сценарий Энергетической [р]еволуции – 2012, Гринпис.*

2.3.5. Этап 5: новые инструменты государственной политики для внедрения новых бизнес-моделей

Сценарий Энергетической [р]еволуции также приведет к резкому изменению бизнес-модели энергетических компаний, коммунальных предприятий, поставщиков топлива и производителей энергетических технологий. Децентрализованная генерация энергии для самостоятельного энергообеспечения наряду с крупными солнечными электростанциями, наземными и морскими ветропарками в отдаленных районах к 2020 году окажет глубокое влияние на деятельность энергетических компаний. В частности, эти источники энергии не требуют топлива, что станет проблемой для вертикально интегрированных энергетических компаний.

Существующая модель представляет собой относительно небольшое количество крупных электростанций, производящих электроэнергию для населения, которыми владеют и управляют энергетические компании или их дочерние структуры. Согласно сценарию Энергетической [р]еволуции, около 60-70% электроэнергии будет производиться большим количеством малых распределенных электростанций. Структура их собственности сместится от централизованных энергетических компаний к частным инвесторам, производителям технологий возобновляемой энергетики и

³⁹ См. также Ecogrid Phase 1 Summary Report, http://www.energinet.dk/nr/rdonlyres/8b1a4a06-cba3-41da-9402-b56c2c288fbo/o/ecogriddk_phase1_summaryreport.pdf

⁴⁰ (GP-EN 2009) European Renewable Energy Council/Greenpeace report, [R]enewables 24/7: infrastructure needed to save the climate, November 2009.

ППС-компаниям (проектирование, поставка, строительство). В свою очередь, цепочка создания ценности энергетических компаний будет смещаться в сторону разработки проектов, производства оборудования, эксплуатации и технического обслуживания (рис. 2.5).

Обычная продажа электроэнергии потребителям будет играть меньшую роль. Энергетические компании будущего будут поставлять потребителям весь спектр услуг электростанций и соответствующих ИТ-услуг, а не только электрическую энергию. Поэтому они будут стремиться стать поставщиками услуг для своих потребителей. Большинство электростанций также не будут требовать поставок топлива, поэтому топливные компании потеряют свою стратегическую значимость.

Сегодня цепочка создания ценности в электроснабжении разбита на несколько четко определенных игроков, но глобальное энергообеспечение за счет возобновляемых источников энергии неизбежно изменит это распределение функций и обязанностей. В следующей таблице представлен обзор изменения цепочки создания ценности в результате революционных изменений в энергетическом балансе.

Будущая модель в рамках сценария Энергетической [р]еволуции предполагает появление все большего количества энергетических компаний с использованием

ВИЭ. Например, производители ветровых турбин будут принимать участие в разработке проектов, установке, эксплуатации и техническом обслуживании объектов, в то время как коммунальные предприятия потеряют свой статус. Традиционные энергоснабжающие компании, которые не перейдут на ВИЭ, либо потеряют свою долю на рынке, либо вообще покинут его.

Государственная политика определяет структуру собственности и инвестиционные потоки

Чтобы организовать переход к энергетическому рынку, на 100% состоящему из ВИЭ, понадобятся соответствующие инструменты государственной политики, которые обеспечат планирование и безопасность инвестиций для малых и средних предприятий (МСП). Такие инструменты должны, в первую очередь, обеспечивать доступ к инфраструктуре – линиям электропередачи, газопроводам и системам централизованного теплоснабжения, чтобы можно было поставлять электрическую энергию, водород, возобновляемый метан и/или возобновляемое тепло потребителям. Ключевым фактором для разработчиков проектов и инвесторов также является приоритетная диспетчеризация во всех сетях, поскольку прогнозируемое производство возобновляемой энергии за тот или иной год – основа финансового планирования.

Рис. 2.5. Изменение цепочки создания ценности для планирования, строительства и эксплуатации новых электростанций

Задача и игрок рынка	Разработка проектов	Производство генерирующего оборудования	Установка	Владелец электростанции	Эксплуатация и техническое обслуживание	Поставка топлива	Передача потребителям
Текущая ситуация на энергетическом рынке	Угольные, газовые и атомные электростанции являются более крупными, чем электростанции на ВИЭ. Среднее количество электростанций, необходимых для 1 ГВт установленной мощности, – только 1-2 проекта.			Относительно новые электростанции, которые находятся в собственности и (иногда) в управлении энергетических компаний.		Небольшое количество крупных международных нефтяных, газовых и угледобывающих компаний доминируют на рынке: сегодня около 75-80% электростанций нуждаются в поставках топлива.	Эксплуатация электросетей перейдет к государственному энергетическому сетевым компаниям или сообществам в результате либерализации политики.
Игрок рынка	Компании, занимающиеся проектированием электростанций			Коммунальные предприятия	Горнодобывающие компании	Операторы электросетей	
Энергетический рынок в 2020 году и после	Электростанции на ВИЭ имеют небольшую генерирующую мощность, количество проектов для проектирующих компаний, производителей и монтажных компаний на 1 ГВт является на порядок большим. В случае с фотоэлектрическими батареями речь может идти о 500 проектах, наземными ветропарками – о 25 — 50 проектах.			Многие проекты будут принадлежать частным домохозяйствам или инвестиционным банкам (в случае крупных проектов).		К 2050 году практически все энергогенерирующие технологии - кроме биомассы - будут работать, не испытывая потребности в поставках топлива.	Эксплуатация электросетей перейдет к государственному энергетическому сетевым компаниям или сообществам в результате либерализации политики.
Игрок рынка	Компании, занимающиеся проектированием электростанций на ВИЭ			Частные и государственные инвесторы	Операторы электросетей		

Источник: Dr. Sven Teske / Greenpeace.

Будущие группы потребителей

Необходимое количество электрической и/или тепловой энергии для различных групп потребителей определяет класс напряжения электросетей, а также тип газопровода (распределительный/магистральный), к которым эти потребители подключены. Взаимодействие между потребителем и инфраструктурой предполагает наличие множества технологий и, следовательно, коммерческих решений для энергосервисных компаний.

Например, установка солнечных фотоэлектрических панелей сегодня очень часто является наименее затратным вариантом для домохозяйств, имеющих доступ к площадям крыши. Стоимость электроэнергии, произведенной фотоэлектрическими панелями, резко сократилась за несколько последних лет. Паритет с розничными ценами на электрическую энергию и нефтяное топливо был достигнут во многих странах и сегментах рынка, при этом достижение оптового паритета на некоторых рынках уже не за горами (Breyer 2015)⁴¹.

С учетом фактов, приведенных в этом разделе, достаточно очевидно, что отказ от изменения текущей традиционной бизнес-модели не будет решением для коммунальных предприятий.

Опыт немецких энергетических компаний является хорошим примером того, какие вызовы энергокомпаниям следует ожидать в будущем. В 2014 году RWE – одна из двух крупнейших энергетических компаний Германии наряду с Eon – сообщила о падении ее прибыли на 45%. Цены на электроэнергию падают, и доля электроэнергии из традиционных источников тоже стремительно сокращается, поэтому эти компании продают меньшее количество электрической энергии по низким ценам. Например, продажи электроэнергии RWE сократились в 2014 году на 7,5% по сравнению с предыдущим годом. Результат оказался на 29% ниже, чем прибыль от обычной генерации электроэнергии. RWE решила проблему частично, создав совместное предприятие с EPC (Sopergy) для вложения существенных инвестиций в накрышные солнечные панели в Германии. Аналогично Eon разделилась на две компании: одна ведет бизнес в сфере традиционной энергии, а другая занимается возобновляемой энергетикой и предоставляет энергетические услуги. Это решение четко свидетельствует о том, что специалисты ведущих энергетических компаний понимают несовместимость традиционной и возобновляемой энергии (PV-M 3-2015)⁴².

⁴¹ (Breyer 2015) PV LCOE in Europe 2014-30; Final report, July 2015; University Lappeenranta / Finland, Dr. Christian Breyer; PV Technology Platform; www.eupvplatform.org

⁴² (PV-M 3-2015); PV Magazine, RWE Profits Slump Amid Crisis In Conventional Energy; 10th March 2015; Ian Clover; http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/rwe-profits-slump-amid-crisis-in-conventionalenergy_100018539.



З

Обзор сценарных прогнозов Гринпис

- Развитие глобальной ветроэнергетики
- Развитие глобальной индустрии солнечных панелей
- Как можно сравнить сценарий Энергетической [р]еволюции с другими сценариями?

За последние десять лет Гринпис опубликовал многочисленные прогнозы в сотрудничестве с отраслевыми ассоциациями возобновляемой энергетики и научными институтами. В данном разделе⁴³ представлен обзор прогнозов за период с 2000 по 2014 годы, а также приводится их сравнение с реальными изменениями на рынке и оценками, приведенными в Прогнозе мировой энергетики МЭА, на котором построен наш Базовый сценарий (см. вставку 3.1).

⁴³ Этот раздел был адаптирован на основе соответствующего раздела Прогноза устойчивого развития мировой энергетики в рамках Энергетической [р]еволюции за 2015 год (Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015) с разрешения Гринпис интернэшнл.



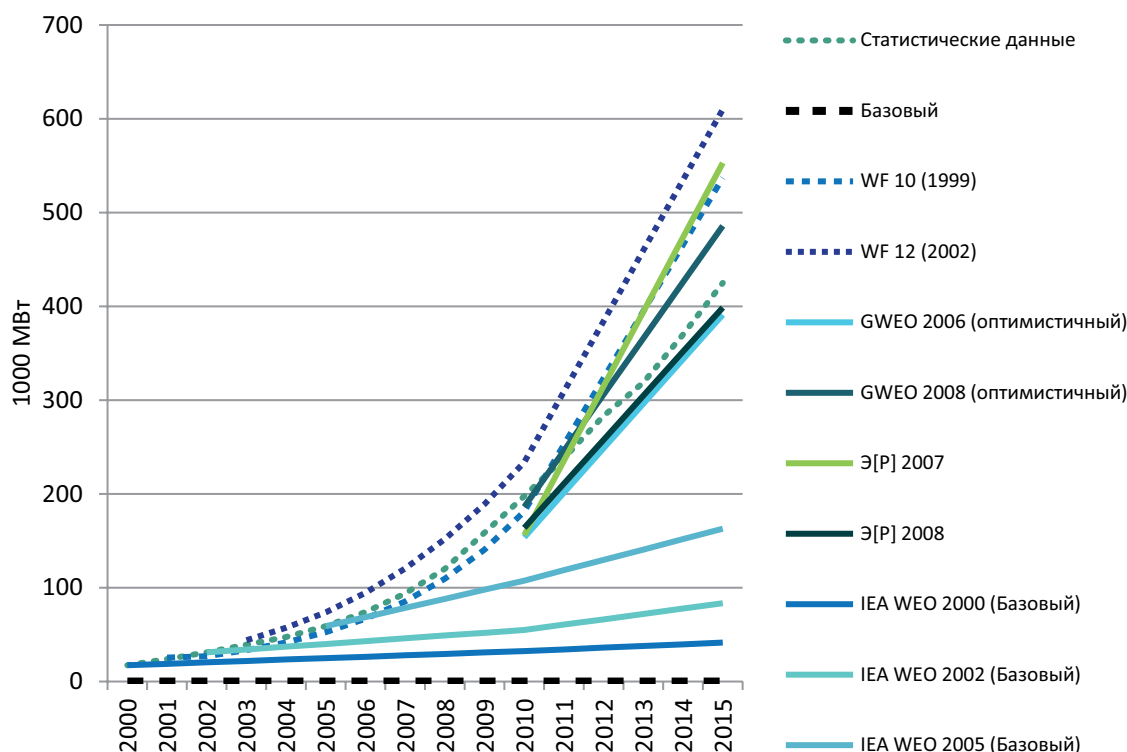
3.1. Развитие глобальной ветроэнергетики

Гринпис и Европейская ассоциация ветроэнергетики впервые опубликовали совместный доклад Windforce 10 в 1999 году. В нем был представлен прогноз развития глобального рынка ветровых турбин на период до 2030 года. С тех пор доклад регулярно обновлялся — обновленные версии публиковались раз в два года. Начиная с 2006 года доклад был переименован в «Прогноз развития мировой ветроэнергетики» и публиковался совместно с новым партнером — Глобальным советом по ветроэнергетике (GWEC) — зонтичной организацией всех региональных ассоциаций по ветроэнергетике. На рис. 3.1 продемонстрированы ежегодные прогнозы, подготовленные с 2000 по 2012 годы, а также приводится их сравнение с реальными рыночными данными. На графике также представлены прогнозы из трех первых редакций сценария Энергетической [р]еволюции (опубликованные в 2007, 2008 и 2010 годах) в сравнении с данными прогнозов развития ветроэнергетики МЭА, опубликованными в Прогнозе мировой энергетики (WEO) за 2000, 2002, 2005, 2008 и 2010 годы.

Расчеты, приведенные в докладах Windforce 10 и Windforce 12, были произведены консалтинговой компанией BTM Consultants (Дания). Данные прогноза развития глобальной ветроэнергетики, которые были опубликованы в Windforce 10 (2001–2011 годы) в этот период, оказались на 10% ниже реального развития рынка. Кроме того, результаты прогнозов, опубликованных в последующих редакциях, также приблизительно на 10% превышали или отставали от реальных рыночных показателей. После 2006 года новый Прогноз развития мировой ветроэнергетики предусматривал два различных сценария — умеренный и оптимистичный прогнозы развития ветроэнергетики, расчеты для которых производились совместно Гринпис интернэшнл и GWEC. На рисунках представлены только оптимистичные прогнозы, поскольку ожидания умеренных прогнозов были слишком низкими. Тем не менее эти прогнозы больше всего поддавались критике в то время. Их называли чрезмерно оптимистичными или даже нереалистичными.

В противоположность сказанному базовые прогнозы (на основе текущих политик) МЭА существенно недооценили потенциал ветроэнергетики в части увеличения производственных мощностей и сокращения расходов. Согласно прогнозам, опубликованным в WEO

Рис. 3.1. Ветроэнергетика – краткосрочный прогноз в сравнении с фактическим развитием – глобальная совокупная мощность



Источник: Greenpeace Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015.

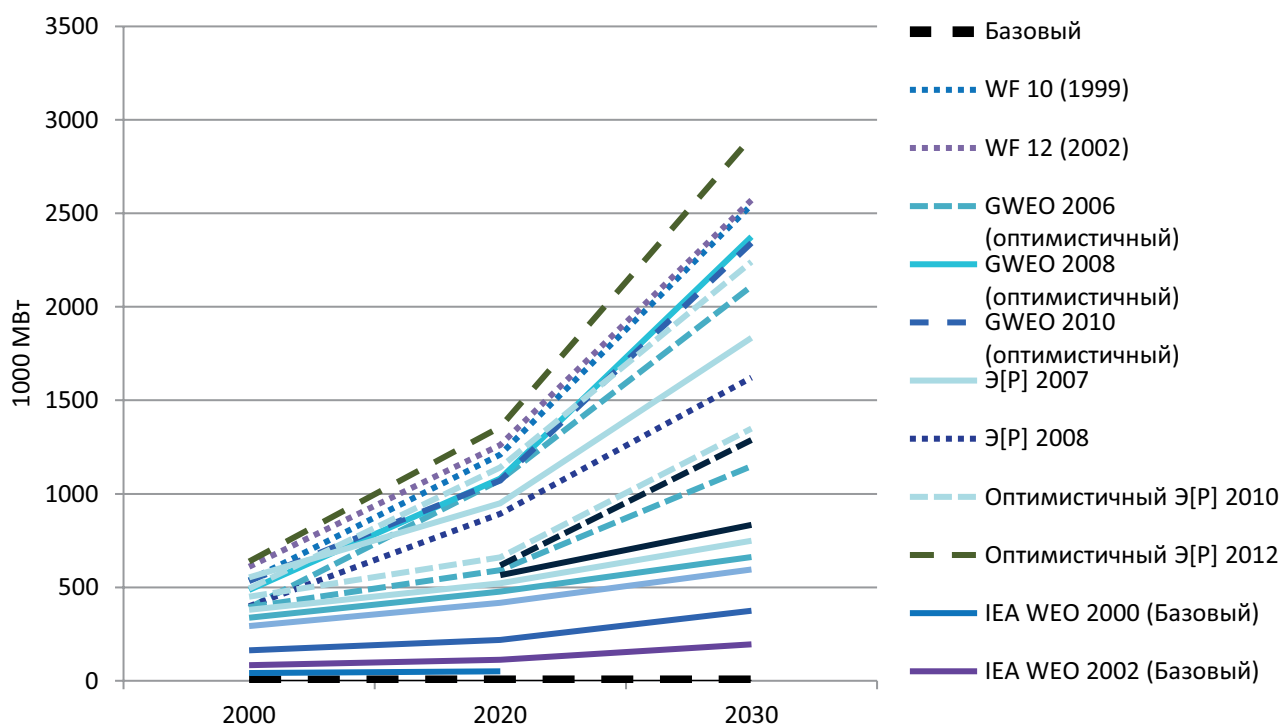
МЭА в 2000 году, глобальные установленные мощности ветровых турбин к 2010 году должны были достичь 32 500 МВт. Однако такие мощности были подключены к энергетической системе уже в начале 2003 года – всего два с половиной года спустя. В 2014 году годовой объем глобального рынка ветроэнергетики составил 39 000 МВт, увеличив совокупный кумулятивный потенциал до 370 000 МВт. Это почти в десять раз больше показателя, представленного в предположениях МЭА десятилетней давности.

Лишь время покажет, насколько долгосрочные прогнозы развития глобальной ветроэнергетики, подготовленные GPI/DLR/GWEC, будут соответствовать реальной рыночной ситуации (рис. 3.2). Однако прогнозы в рамках WEO МЭА на протяжении последних десяти лет регулярно пересматриваются в сторону повышения и приближаются к более прогрессивным темпам роста.

3.2. Развитие глобальной индустрии солнечных панелей

Воодушевленный успешной работой с Европейской ассоциацией по ветровой энергетике (EWEA), Гринпис в 2001 году начал работать с Европейской ассоциацией фотоэлектрической промышленности (EPIA) над докладом Solar Generation 10, который представляет собой прогноз развития солнечных фотоэлектрических технологий на период до 2020 года. С тех пор было опубликовано шесть изданий, при этом EPIA и Гринпис постоянно улучшали методологию расчета с привлечением экспертов обеих организаций. На рис. 3.3 приведены годовые прогнозы за период с 2001 по 2015 годы в сравнении с реальными рыночными данными, первыми двумя изданиями сценария Энергетической [р]еволюции (опубликованными в 2007, 2008, 2010 и 2012 годах) и прогнозами МЭА относительно развития солнечной энергетики, опубликованными в Прогнозе мировой энергетики (WEO) за 2000, 2002, 2005, 2007, 2009, 2010 и 2011 годы. В первых изданиях МЭА не делало конкретных прогнозов относительно развития солнечной энергетики, а вместо этого использовало категорию «Солнечные/Приливные/Другие электростанции». В отличие от прогнозов развития ветроэнергетики,

Рис. 3.2. Ветроэнергетика – долгосрочные прогнозы развития рынка на период до 2030 года



Источник: Greenpeace Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015.

Вставка 3.1. Статья Meister Consultants «Революция в секторе возобновляемой энергетики»

В глобальном энергетическом секторе происходят масштабные преобразования⁴⁴.

Новые мощности возобновляемой энергетики устанавливаются во всем мире, превышая показатели большинства прогнозов менее чем десятилетней давности.

Рекордное количество новых установленных глобальных мощностей ветровой и солнечной энергетики было зафиксировано в 2014 году. Министерство энергетики США охарактеризовало эти события как энергетическую революцию. Но насколько сильной является эта тенденция? Насколько фактически вырос сектор возобновляемых технологий, таких как фотоэлектрические панели, за последние годы?

Солнечная и ветровая энергетика: опережение (большинства) экспертных прогнозов.

На протяжении 15 последних лет Международное энергетическое агентство, Управление энергетической информации США и другие подготовили ряд прогнозов относительно будущего развития возобновляемой энергетики. Практически все эти прогнозы недооценили масштаб фактического роста, который продемонстрировали рынки ветровой и солнечной энергетики. Лишь наиболее оптимистичные прогнозы, такие как прогноз, подготовленный в рамках сценариев Энергетической [р]еволюции Гринпис, оказались приближенными к фактическим результатам. Прогнозы Гринпис были подготовлены с учетом резких структурных, политических и коммерческих изменений. Недавние решения, предпринятые компанией E.ON (Китай), а также множеством других национальных и международных организаций, дают основания полагать, что эти изменения уже происходят.

Чего следует ожидать?

Никто не знает, как будет выглядеть электроэнергетический баланс в будущем, и эта неизвестность более ши-

роко отображена в прогнозах развития энергетической системы в целом. Приблизительно 13% глобального потребления первичной энергии обеспечивается из возобновляемых источников, и можно почти уверенно говорить о том, что возобновляемая энергетика продолжит развиваться. Вопрос лишь заключается в том, насколько существенным будет это развитие. Согласно прогнозам и сценариям, от 15% до 82% глобального потребления первичной энергии к 2050 году будет обеспечиваться из возобновляемых источников. Чтобы преуспевать на мировом рынке в будущем, ведущие компании и лица, определяющие политику, должны эффективно управлять изменениями. Следующий этап развития возобновляемой энергетики повлечет за собой, скорее всего, существенные изменения в структуре глобальной энергетической системы. Это означает новые инструменты государственной политики, новые бизнес-модели, новые системы управления электросетями и риск масштабной дестабилизации. Все это вызывает целый ряд вопросов:

- как могут лица, определяющие политику, бизнес и общественные лидеры сотрудничать для эффективного управления изменениями?
- каким образом руководители стран могут привести к общему знаменателю интересы заинтересованных сторон для внедрения необходимых мер государственной политики и нормативных актов во всех регионах?
- какие новые бизнес-модели необходимо будет реализовать для получения большей доли экономически эффективных проектов по развитию ВИЭ и проектов по повышению энергоэффективности?
- как можно привлечь инвесторов для финансирования крупных проектов энергетической инфраструктуры?

Подобные стратегические вопросы являются основной темой энергетических дискуссий во всем мире. В то же время они предполагают, что стороны, заинтересованные в энергетических проектах, будут иметь определенный контроль над грядущими изменениями. Однако, как показывает предыдущий опыт, рост рынка возобновляемой энергетики постоянно (положительно) удивляет аналитиков, разработчиков и лиц, определяющих политику, которые пытаются предсказать будущее.

⁴⁴ (MCG 2015), Renewable energy revolution — published March 16, 2015 (MCG 2015)

все прогнозы Solar Generation были слишком консервативны. Общая установленная мощность в 2014 году составила 175 000 МВт, что в два раза больше, чем прогнозировалось в докладе Solar Generation 2, который был опубликован десятью годами ранее. Даже в докладе Solar Generation 5, который был опубликован в 2008 году, был недооценен возможный рост рынка фотоэлектрических панелей согласно прогрессивному сценарию. Для сравнения, прогнозы на 2010 год, опубликованные в WEO МЭА в 2000 году, сбылись уже в 2004-м.

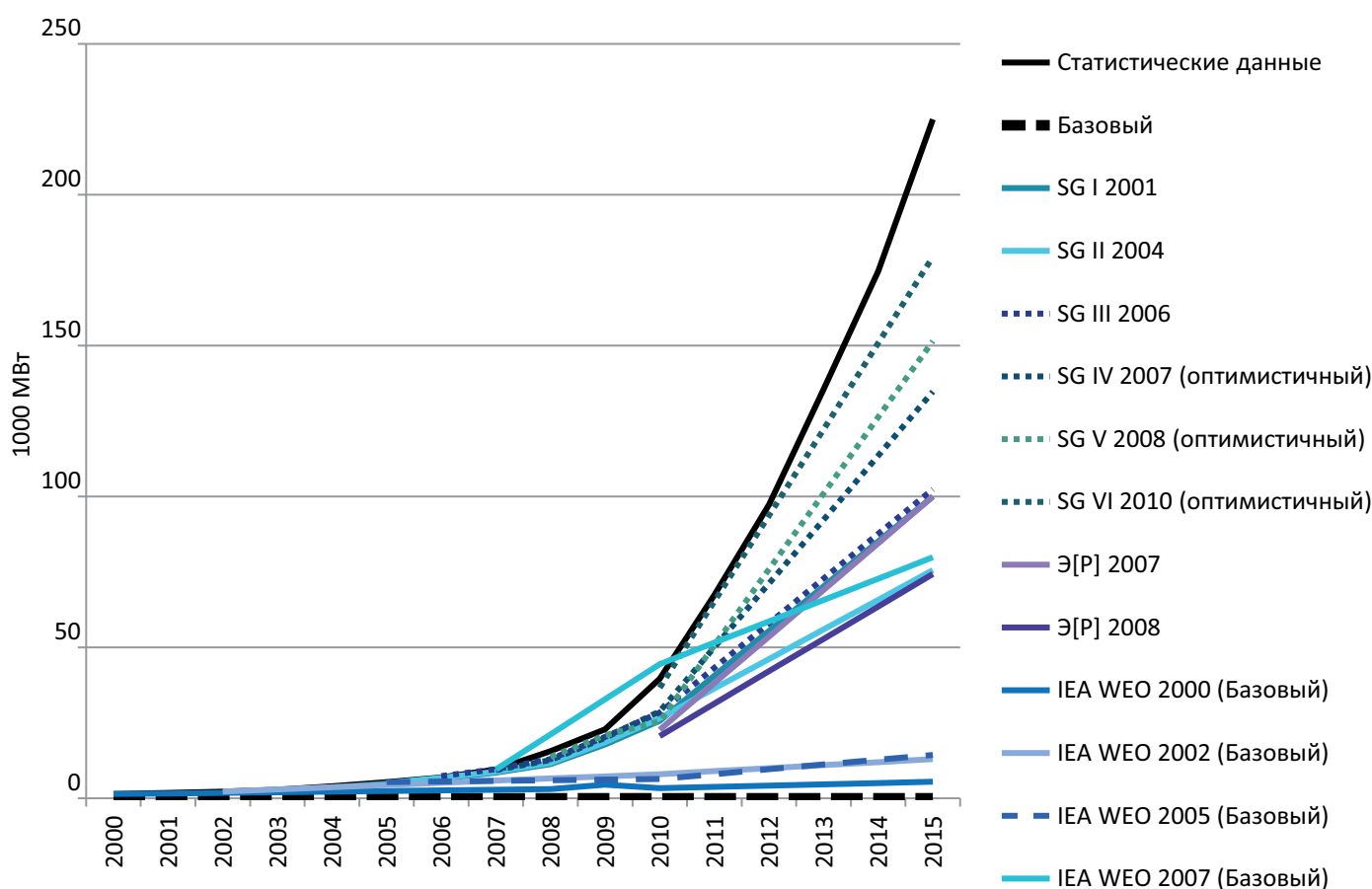
Построение долгосрочных прогнозов развития солнечной энергетики (рис. 3.4) – более сложная задача, чем создание аналогичных прогнозов для ветроэнергетики, поскольку ее стоимость снижается существенно быстрее, чем ожидалось. В большинстве стран – членов ОЭСР солнечная энергетика достигла сетевого паритета в части розничных тарифов, установленных энергетическими компаниями в 2014 году. Кроме того, другие солнечные технологии, такие как концентрационные солнечные электростанции (КСЭС), демонстрируют аналогичную тенденцию. Таким образом, будущие прогнозы развития солнечных фотоэлектрических технологий

не только зависят от снижения стоимости, но и от имеющихся технологий аккумулирования энергии. По сути интеграция в электросеть может стать проблемой для солнечной энергетики, которая, как предполагают сегодня, наступит гораздо раньше, чем ожидалось.

3.3. Как можно сравнить сценарий Энергетической [р]еволюции с другими сценариями?

В мае 2011 года Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) опубликовала новый основополагающий «Специальный доклад о возобновляемых источниках энергии» (SRREN). В этом отчете приводится наиболее актуальный и комплексный анализ научных докладов, посвященных всем источникам возобновляемой энергии, а также сценариям энергетического развития, которые являются допустимыми с

Рис. 3.3. Солнечная энергетика – краткосрочный прогноз в сравнении с фактическим развитием – глобальная совокупная мощность



Источник: Greenpeace Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015.

научной точки зрения. Сценарий Энергетической [р]еволюции был одним из трех сценариев, отобранных в качестве ориентировочных сценариев амбициозного пути развития возобновляемой энергетики. Точка зрения IPCC тезисно изложена ниже. Тщательной оценке были подвержены четыре пути развития, основанные на следующих моделях:

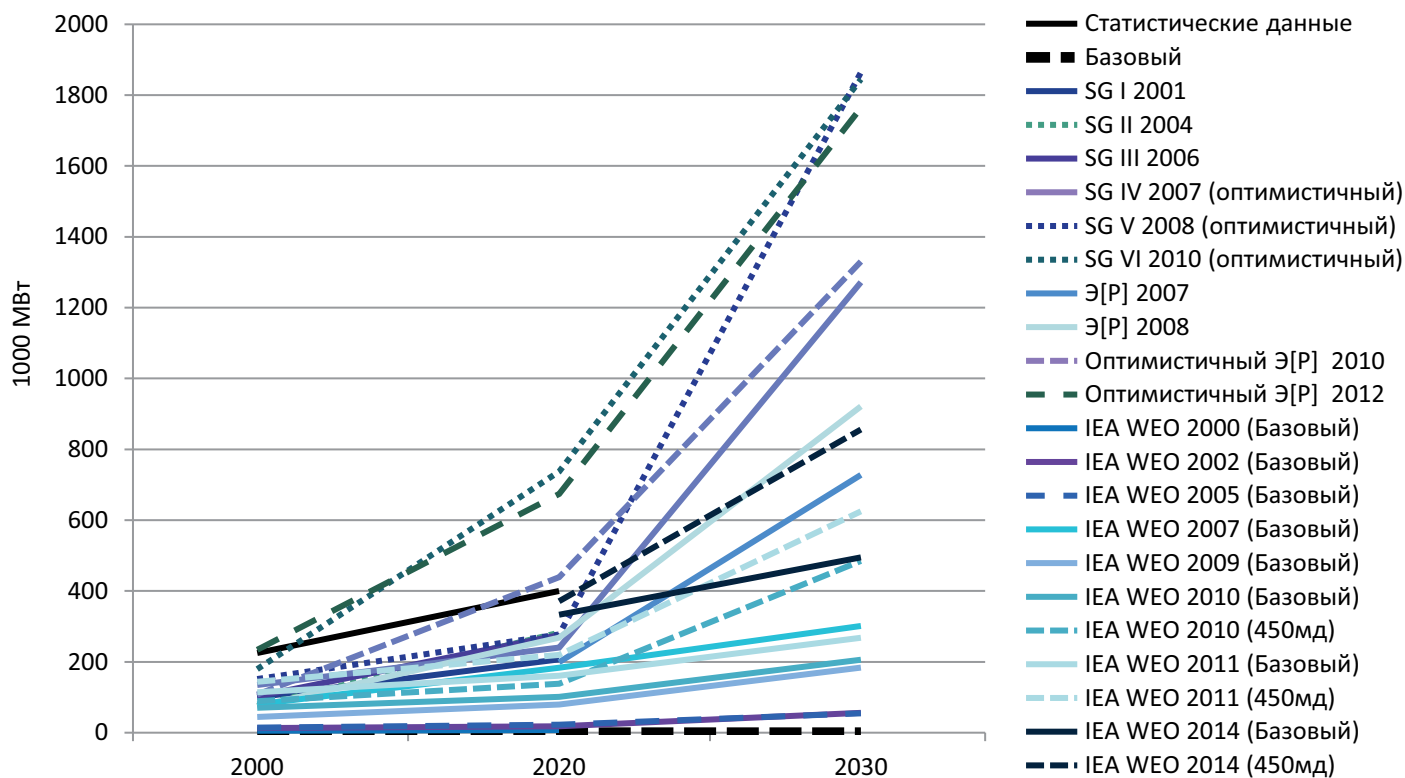
- Прогноз мировой энергетики Международного энергетического агентства за 2009 год, (WEO МЭА 2009);
- Энергетическая [р]еволюция Гринпис, редакция за 2010 год (Э[Р] 2010);
- ReMIND-RECIPE;
- MiniCam EMF 22.

Прогноз мировой энергетики МЭА использовался в качестве примерного основного сценария (с наименьшим развитием возобновляемой энергетики), в то время как три других рассматривались в качестве сценариев для снижения выбросов парниковых газов, направленных на снижение рисков, связанных с изменением климата. Четыре сценария предоставляют существенный объем дополнительной информации о целом ряде технических сведений, представляют собой комплекс базовых предположений и строятся на различных методологиях. Они предусматривают различные пути развития возобновляемой энергетики, включая разработанный Гринпис оптимистичный путь внедрения технологий возобновляемой энергетики, ос-

нованный на предположении о том, что текущая высокая динамика роста сектора сохранится. IPCC обращает внимание на то, что результаты сценариев определяются частично допущениями, но также могут зависеть от лежащей в их основе логики моделирования и ограничений, присущих каждой конкретной модели. Таким образом, в анализируемых сценариях используются различные системы моделирования, прогнозы относительно потребления и технологические решения для энергоснабжения. Результаты детально представлены в таблице 3.1, но вкратце они выглядят следующим образом:

- Базовый сценарий МЭА предполагает высокий рост потребления на фоне слабого развития возобновляемой энергетики;
- сценарии ReMind-RECIPE и MiniCam EMF 22 предполагают высокий рост потребления и существенное развитие возобновляемой энергетики в совокупности с возможностью использования технологий улавливания и хранения углерода (CCS) и атомной энергетики;
- сценарий Э[Р] в редакции от 2010 года основывается на сокращении потребления (благодаря существенному увеличению энергоэффективности) в совокупности с высокими темпами развития возобновляемой энергетики, а также отказом от использования технологий улавливания и хранения углерода (CCS) и атомной энергетики во всем мире к 2045 году.

Рис. 3.4. Солнечная энергетика – долгосрочные прогнозы развития рынка на период до 2030 года



Источник: Greenpeace Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015.

Прирост населения и рост ВВП являются основными движущими силами будущего энергопотребления и, соответственно, – по крайней мере опосредованно – определяют будущие доли возобновляемой энергетики.

Анализ IPCC демонстрирует, какие модели используют допущения, основанные на внешних исходных данных, и какие результаты определены эндогенными факторами этих моделей. Все сценарии учитывают увеличение численности населения планеты на 50% по сравнению с исходным уровнем 2009 года. Что касается валового внутреннего продукта (ВВП), все сценарии предполагают или

при помощи расчетов приходят к выводу о потенциальном существенном росте ВВП. В качестве исходных данных для прогнозирования роста ВВП в WEO МЭА (в редакции от 2009 года) и в модели сценария Э[Р] (в редакции от 2010 года) используются прогнозы Международного валютного фонда (МВФ 2009) и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). В двух других сценариях ВВП рассчитывается в результате моделирования. В таблице 4.1 представлен обзор ключевых параметров анализа IPCC в контексте сценариев МЭА и Гринпис, которые были опубликованы после SRREN.

Таблица 3.1. Обзор ключевых параметров типичных сценариев, строящихся на экзогенных допущениях

Категория		Статус-кво	Базовая линия				Категория iii+iv (>440 — 600 мд)		Категория i+ii (< 440 мд)		Категория i+ii (< 440 мд)			
			IEA WEO 2009		IEA WEO 2011		ReMind		MiniCam		E[R] 2010		E[R] 2012	
Наименование сценария		IEA ETP					ReMind		MiniCam		E[R] 2010		E[R] 2012	
Модель							ReMind		EMF22		MESAP/PlaNet		MESAP/PlaNet	
Год опубликования		2015	2009		2011		20xx		20xx		2010		2012	
	Ед. изм.		2030	2050*	2030	2050*	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Технологический путь (-) не вкл. технологии (+) вкл. технологии														
Возобновляемые источники энергии			все**	все	все**	все	фотоэлектрические и концентрационные СЭС не дифференцированы		фотоэлектрические и концентрационные СЭС не дифференцированы, энергия океана не включена		все	все	все	все
Улавливание и хранение углерода (CCS)			(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
Атомная энергия			(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)
Население	млрд	6,67	8,31	9,15	8,31	9,15	8,32	9,19	8,07	8,82	8,31	9,15	8,31	9,15
ВВП на душу населения**	Тыс. \$ (2005) на душу	-	17,4	24,3	-	-	12,4	18,2	9,7	13,9	17,4	24,3	-	-
Энергопотребление (прямой эквивалент)	ЭДж/г.	568	645	749	694	805	590	674	608	690	474	407	526	481
Энергоинтенсивность	МДж/\$ (2005)	-	4,5	3,4	-	-	5,7	4,0	7,8	5,6	3,3	1,8	-	-
Возобновляемая энергетика	%	13	14	15	14	16	32	48	24	31	39	77	41	82
Промышленные выбросы и выбросы CO ₂ связанные с использованием ископаемого топлива	Гт CO ₂ в год	32,2	38,5	44,3	39,2	45,3	26,6	15,8	29,9	12,4	18,4	3,7	20,1	3,1
Углериодоемкость	кг CO ₂ /ГДж	-	57,1	56,6	-	-	45,0	23,5	49,2	18,0	36,7	7,1	-	-

* Сценарий МЭА (2009) не охватывает период с 2031 по 2050 гг. Поскольку прогноз МЭА в качестве вводной для этого сценария охватывает период только до 2030 года, Аэрокосмическим центром Германии (DLR) было осуществлено экстраполирование ключевых макроэкономических и энергетических показателей WEO в редакции от 2009 года на период до 2050 года (Teske et al., 2010).

** Данные представляют собой либо исходные данные, либо эндогенные результаты моделирования.

*** Солнечные фотоэлектрические технологии, концентрационные СЭС, солнечные водонагревательные системы, ветроэнергетика (наземная и морская), геотермальная энергия, теплоэнергетика и когенерация, биоэнергетика, гидроэнергетика, энергия океана.

4

Обзор климатической и энергетической политики, а также перспектив развития транспортного сектора Беларуси

- Климатическая политика
- Энергетическая политика
- Государственная политика и перспективы развития транспортного сектора

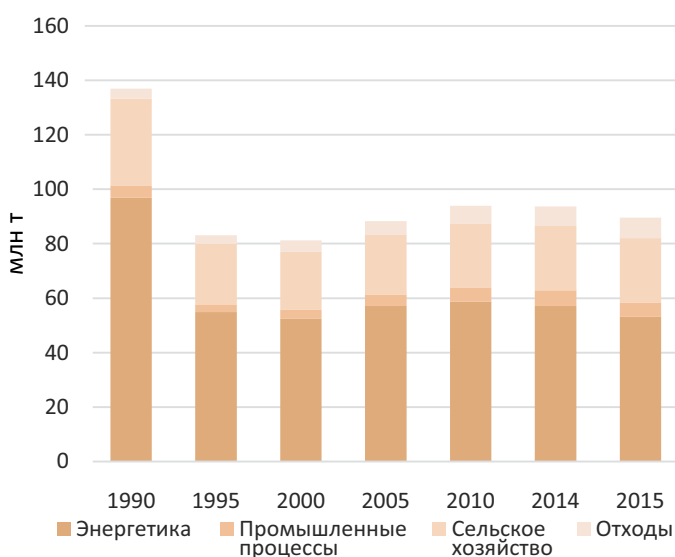


4.1. Климатическая политика

В течение долгих лет Беларусь имела неоднозначный имидж в мире глобальной климатической политики. Являясь страной Приложения I к РКИК ООН, Беларусь должна нести основное бремя обязательств по смягчению последствий глобального изменения климата наравне с другими странами Приложения I, однако ее политика вызывала сомнения⁴⁵ в том, насколько действия белорусского правительства в рамках РКИК ООН и Киотского протокола соответствуют целями по снижению воздействия на климат⁴⁶.

После прекращения существования СССР, разрыва экономических связей между союзными республиками и длительной стагнации экономики выбросы парниковых газов в Беларуси в период с 1990 года по начало 2000-х сократились более чем на 40%. Начиная с 2000 года наблюдалась стабилизация уровня выбросов парниковых газов с незначительным ростом, обусловленная целенаправленной деятельностью Республики Беларусь по снижению энергоёмкости экономики и внедрению использования возобновляемых источников энергии (см. рис. 4.1).

Рис. 4.1. Изменение выбросов парниковых газов по секторам 1990–2015 гг.



Примечание: данные по выбросам ПГ указаны без учета землепользования, изменения в землепользовании и лесного хозяйства.

Источник: Национальный кадастр выбросов парниковых газов Беларуси, 2017 г.

⁴⁵ The European Union in International Climate Change Negotiations, https://books.google.by/books?id=ekYlDwAAQBAJ&pg=PA133&lpg=PA133&dq=belarus+climate+change+hot+air&source=bl&ots=q-ywN_19IA&sig=I-sVaMHltihVbpJ4vSG-rWhcrSM&hl=ru&sa=X&ved=oahUKEwizuaahmeTVAhWmCpokHSO8CW0Q6AEIwJAF#v=onepage&q=belarus%20climate%20change%20hot%20air&f=false

⁴⁶ Climate Action Tracker: Belarus, <http://climateactiontracker.org/countries/belarus.html>

Тем не менее, ссылаясь на статус страны, осуществляющей переход к рыночной экономике, в рамках первого периода осуществления Киотского протокола Беларусь заявила цель, которая выглядела недостаточно амбициозной: -8% от уровня базового 1990 года к 2012 году⁴⁷, так как в реальности к 2012 году выбросы страны были ниже уровня 1990 года на 35,8%. Согласно условиям протокола, излишек квот (разницу между реальным уровнем сокращений и заявленными обязательствами) можно было продать другой стороне, что послужило основой для мнения, что Беларусь ориентируется именно на участие в механизме торговли квотами, не прилагая при этом достаточных усилий для дополнительного сокращения выбросов.

Ввиду того что Беларусь осуществляла присоединение к Протоколу позже, чем остальные стороны, для закрепления ее обязательств понадобилась поправка к Приложению В Протокола, потребовавшая ратификации сторонами. Тем не менее поправка так и не была ратифицирована необходимым количеством сторон, и Беларусь не стала полноправным участником первого периода осуществления Киотского протокола и не получила доступа к механизмам гибкости, в том числе к механизму проектов совместного осуществления, для потенциального использования которого в стране была подготовлена законодательная база. Ввиду условий Дохийской поправки, принятой на 18-й Конференции сторон РКИК ООН в 2012 году и регламентирующей условия действия 2 периода обязательств Киотского протокола (с 2012 по 2020 годы), потребовавшей значительного повышения уровня обязательств со стороны Беларуси⁴⁸, и практической невозможности участия в механизмах гибкости во втором периоде обязательств Киотского протокола Беларусь не ратифицировала Дохийскую поправку.

В ноябре 2015 года Беларусь присоединилась к Парижскому соглашению и ратифицировала его в сентябре 2016 года. Цель, заявленная в национально определяемых обязательствах страны, составляет 28% от уровня 1990 года к 2030-му⁴⁹. Данные обязательства Республики Беларусь опираются только на внутренний потенциал страны и принимаются без каких-либо дополнительных условий. Заметное увеличение цели базируется, в основном, на планах по введению в эксплуатацию Белорусской АЭС и дальнейших мерах по снижению углеродоемкости экономики, но практически не опирается на дальнейшее развитие ВИЭ (цель Беларуси по внедрению ВИЭ составляет 8% к 2030 году и 9% к 2035-му⁵⁰). Согласно прогнозу, подготовленному в ходе разработки национально определяемых обязательств Беларуси,

⁴⁷ Решение 10/CMP.2 Конференции сторон РКИК ООН, ноябрь 2006 года, Кения, <http://unfccc.int/resource/docs/2006/cmp2/eng/10a01.pdf#page=36>

⁴⁸ The Doha Dead End? Transition Economies and the New Kyoto rules, <https://www.fni.no/getfile.php/132203/Filer/Publikasjoner/FNI-Climate-Policy-Perspectives-9.pdf>

⁴⁹ Intended Nationally Determined Contributions of the Republic of Belarus, http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Belarus/1/Belarus_INDC_Eng_25.09.2015.pdf

⁵⁰ Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1084 от 23 декабря 2015 г. «Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь», <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/%D0%9F23.12.2015%E2%84%961084-%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf>

после 2030 года будет прослеживаться дальнейшая тенденция к увеличению выбросов парниковых газов с прохождением пика в 2035 году.

Несмотря на то что углеродоемкость экономики Беларуси за 1990–2014 годы снизилась в 4 раза⁵¹ и приблизилась к показателям развитых стран с похожим климатом (и это самый высокий в Европе темп движения к параметрам низкоуглеродного развития), правительство страны признает, что во многих секторах экономики остается большой потенциал для снижения воздействия на климат. По сравнению со сценариями, основанными на существующих программах развития, которые приводят к сокращению выбросов на 20–22% в 2030 году по сравнению с базовым годом, по некоторым оценкам за период с 2015 по 2030 годы можно добиться дополнительного сокращения выбросов парниковых газов примерно на 25–30 млн т в эквиваленте CO₂, и Беларусь включила эту возможность в свои обязательства⁵².

В настоящее время в Беларуси действует Государственная программа мер по смягчению последствий изменения климата на 2012–2020 годы⁵³. В рамках утвержденного в начале 2017 года Плана мероприятий по реализации положений Парижского соглашения⁵⁴ в 2016–2020 годах должны быть сформированы законодательные основы новой национальной климатической политики и будут разработаны программы развития основных видов экономической деятельности на 2020–2030 годы, включающие меры, регулирующие и стимулирующие сокращение выбросов парниковых газов. В частности, планируется разработать Стратегию долгосрочного развития Республики Беларусь с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, а также Национальный план действий в области адаптации к изменению климата.

Вместе с тем ВВП по паритету покупательной способности на душу населения остается достаточно низким в сравнении с другими странами Приложения I к РККИК ООН (18 000 долл. США, по данным Международного валютного фонда на 2016 год, – 67-е место в мире⁵⁵), а инвестиции в основной капитал недостаточны для обеспечения расширенного производства. Поэтому Беларусь располагает ограниченными финансовыми ресурсами для ускоренного освоения наилучшей международной практики и внедрения наилучших доступных технологий. В условиях существующих высоких предельных затрат

и низких темпов роста экономики способность страны мобилизовать капитал и обеспечить дополнительные инвестиции в низкоуглеродные технологии ограничена.

4.2. Энергетическая политика

За 27 лет существования независимой Беларуси энергосистема и политика страны в сфере управления энергоресурсами изменились, однако эти изменения нельзя назвать структурными и существенными: страна все еще опирается на сформированные в советские годы подходы. Определяющим фактором для энергетической системы Беларуси является зависимость от внешних энергетических ресурсов: на данный момент почти 90% топлива, используемого в энергетическом секторе, импортируется из России, причем в производстве электроэнергии Беларусь практически полностью зависима от поставок природного газа из России⁵⁶.

В принятой в конце 2015 года Концепции энергетической безопасности Беларуси обозначено, что уровень зависимости от внешних поставщиков остается критическим, и устанавливаются конкретные цели по снижению зависимости от поставок из-за рубежа: так, к 2035 году доля России в импорте энергоресурсов должна быть снижена на 20% (с 90% до 70%). Достижение этих показателей планируется, в основном, за счет снижения потребления импортируемого природного газа в производстве электрической и тепловой энергии: с 90% до 50%. Однако ключевым моментом является то, что газ будет замещаться энергией Белорусской АЭС, топливо для которой планируется закупать в той же России, а доля возобновляемых источников энергии вырастет незначительно по сравнению с темпами роста сектора ВИЭ в передовых странах: с 5% на сегодняшний день до плановых 9% в 2035 году. Это позволяет говорить о том, что стратегия белорусского правительства не способна обеспечить реальные изменения в энергетической безопасности Беларуси и по сути сохраняет статус-кво в зависимости от России, заменяя только виды импортируемого топлива.

Также стоит отметить, что важным аспектом концепции энергетической безопасности Беларуси является запланированное поэтапное сокращение перекрестного субсидирования в тарифах на электроэнергию и ценах на газ, а также совершенствование системы тарифообразования в целях стимулирования потребителей к более эффективному использованию энергии. В рамках социальной политики Беларуси в течение долгого времени потребители имели доступ к энергетическим ресурсам по заниженным тарифам, при этом разница в себестоимости и тарифе для домохозяйств заложена в стоимость энергии для предприятий, что негативно повлияло на потребительские привычки белорусов и послужило причиной для критики со стороны международных кредиторов. Ликвидация политики субсидирования приведет к росту

⁵¹ International Energy Agency: Key World Energy Statistics 2016, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>

⁵² Второй двухгодичный отчет Республики Беларусь согласно обязательствам по РККИК ООН, стр. 27 «Прогнозы выбросов парниковых газов», https://unfccc.int/files/national_reports/biennial_reports_and_iar/submitted_biennial_reports/application/pdf/br_2_belarus.pdf

⁵³ Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 510 от 21 июня 2013 г. «Об утверждении Государственной программы мер по смягчению последствий изменения климата на 2012–2020 годы», <http://www.pravo.by/document/?guid=3871&po=C21300510&p1=1>

⁵⁴ План мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к РККИК ООН, <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Utv-PLAN-meroprijatij-Parizhscoe-soglashenie.pdf>

⁵⁵ IMF. 2017. World Economic Outlook Database.

⁵⁶ Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1084 от 23 декабря 2015 г. «Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь», <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/Do%9F23.12.2015%84%961084-%Do%B8-%Do%BA%Do%BE%Do%BD%D1%86%Do%B5%Do%BF%D1%86%Do%B8%D1%8F.pdf>

стоимости коммунальных услуг для потребителей, что должно стимулировать изменение в культуре бытового использования ресурсов, а также укрепить интерес к использованию ВИЭ в частных домохозяйствах. Помимо этого, в Беларуси планируется расширение использования гибкой тарифной политики, призванной сбалансировать потребление энергии в часы пиковой нагрузки и вне этого периода, это особенно важно ввиду перспективы ввода Белорусской АЭС в эксплуатацию.

Дальнейшее повышение энергоэффективности также остается важнейшим приоритетом энергетической политики в Беларуси. Политика энергосбережения, целенаправленно проводимая в Беларуси с 1993 года, предусматривает в качестве долгосрочной цели снижение энергоемкости ВВП до среднемирового уровня, и стране удалось добиться определенных успехов в этой области: по данным Международного энергетического агентства⁵⁷, в 2014 году показатель энергоемкости ВВП Беларуси составил 0,17 т нефтяного эквивалента на 1 тыс. долл. США (по ППС и в ценах 2005 года), снизился по отношению к 2000 году (0,38 т н. э. на 1 тыс. долл. США) более чем в 2 раза и достиг уровня аналогичного показателя развитых стран со схожими климатическими условиями – Канады и Финляндии. Вместе с тем энергоемкость ВВП в Беларуси остается в 1,5 раза выше, чем в среднем в странах ОЭСР, и в 1,2 раза выше мирового среднего уровня этого показателя.

В стране создано законодательство, стимулирующее повышение энергоэффективности (например, Закон «Об энергосбережении» от 2015 года⁵⁸, а также Директива Президента № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства»⁵⁹), и функционирует специальный государственный орган – Департамент энергоэффективности, который разрабатывает государственные программы энергосбережения (в данный момент завершены уже две программы и действует третья по счету – на 2016–2020 годы)⁶⁰. Реализация Республиканской программы энергосбережения на 2011–2015 годы позволила получить за пятилетку экономии топливно-энергетических ресурсов в объеме 7,79 млн т у.т.

В соответствии с действующей государственной программой энергосбережения, к 2021 году энергоемкость ВВП Беларуси должна быть снижена еще на 2% по сравнению с показателем 2015 года. Помимо прочего планируется вывод из эксплуатации неэффективных энергоисточников, снижение затрат на производство и передачу энергии, модернизация и тех-

ническое переоснащение предприятий и переориентация производства на выпуск менее энергоемкой продукции, снижение потерь энергии в тепловых сетях к 2020 году до уровня 10% за счет ежегодной замены сетей, находящихся на балансе организаций жилищно-коммунального хозяйства, в объеме не менее 4% от их протяженности, проектирование и строительство преимущественно энергоэффективных зданий, в том числе с применением инновационных технологий использования ВИЭ, оснащение многоквартирных домов системами автоматического регулирования расходования тепловой энергии, водных ресурсов и управления освещением и др.

Помимо прочего, в соответствии с программой развития системы технического нормирования, стандартизации и подтверждения соответствия в области энергосбережения на 2011–2015 годы разработано свыше 100 государственных и межгосударственных стандартов, из них более 90% соответствуют международным и европейским требованиям. В рамках реализации проекта технической помощи Европейского союза «Поддержка Республики Беларусь в области норм и стандартов в сфере энергоэффективности потребительских товаров и промышленной продукции» разрабатываются на основе регламентов и директив Европейского союза 48 государственных стандартов Республики Беларусь, в которых устанавливаются требования к энергоэффективности продукции, ее маркировке, методам испытаний. В рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергоэффективности в жилых зданиях в Республике Беларусь» было проведено 55 энергоаудитов жилых зданий, а также построено 3 пилотных многоквартирных энергоэффективных жилых дома в Минске, Гродно и Могилеве. На основе полученного опыта удалось создать ряд технических требований к энергоэффективности в жилищном строительстве⁶¹.

Политика в сфере ВИЭ

Развитие сектора возобновляемой энергетики является неотъемлемой частью национальной политики Беларуси в области обеспечения энергетической безопасности и снижения воздействия на климат. Целевые показатели по внедрению ВИЭ закреплены в Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь: так, к 2035 году запланировано довести показатель использования возобновляемой энергии до 9% от валового потребления энергии (по состоянию на 2014 год этот показатель составлял 5%⁶²). Принципы имплементации политики в сфере возобновляемой энергетики, в том числе отношения в области производства, потребления возобновляемой энергии и государственной поддержки и стимулирования развития этой отрасли, закреплены в Законе Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» от 27 декабря 2010 г.⁶³

⁵⁷ IEA. 2017. Key World Energy Statistics 2016, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>

⁵⁸ Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» № 239-з от 8 января 2015 г., http://minenergo.gov.by/dfiles/000437_303862_ob_energoberezhennii_2015.pdf

⁵⁹ Директива № 3 от 14 июня 2007 г. (в редакции Указа № 26 от 26 января 2016 г.) «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства», http://president.gov.by/ru/official_documents_ru/view/direktiva-3-ot-14-junja-2007-g-1399/

⁶⁰ Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 марта 2016 г. № 248 «Об утверждении государственной программы «Энергосбережение» на 2016–2020 годы», <http://energoeffekt.gov.by/laws/resolution/2313-28032016-248-q-qq-20162020-q>

⁶¹ UNDP/GEF project “Energy Efficiency Improvement in Residential Buildings”: Annual Project Review, http://www.by.undp.org/content/dam/belarus/docs/EE-in-buildings/APR-2015_Eng_EERB77154.pdf

⁶² UNECE Renewable Energy Status Report: 2017, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/REN21_UNECE_Renewable_Energy_Status_Report_2017_Report_FINAL.pdf

⁶³ Закон Республики Беларусь № 204-з от 27 декабря 2010 г. «О возобновляемых источниках энергии», http://energoeffekt.gov.by/downloads/laws/act/lstochniki_27122010.doc

На текущий момент Беларусь использует следующие меры государственного стимулирования развития этого сектора энергетики:

- гарантированное подключение к государственным электросетям и покупка произведенной электроэнергии государственной энергоснабжающей организацией;
- подтверждение происхождения энергии из ВИЭ посредством выдачи сертификата;
- налоговые и прочие льготы, в том числе возможное освобождение оборудования от таможенных пошлин;
- использование повышающих коэффициентов стоимости энергии, произведенной ВИЭ, по сравнению с традиционными источниками (регулируется Постановлением Министерства экономики Республики Беларусь № 100 «О тарифах на электрическую энергию, производимую из возобновляемых источников энергии...» от 30 июня 2011 г.⁶⁴).

Кроме того, обеспечена возможность владения объектами ВИЭ для иностранных инвесторов (при этом государство гарантирует покупку энергии). Однако конечный потребитель имеет возможность покупать электроэнергию только централизованно через государственного регулятора, не имея возможности закупать энергию, полученную из возобновляемых источников, непосредственно у частного производителя.

Отличительной особенностью регулирования сектора возобновляемой энергетики в Беларуси является использование механизма квотирования создания установок, использующих возобновляемые источники энергии, — вопросы установления квот регламентированы постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 6 августа 2015 г. № 662⁶⁵. Механизм квотирования стал реакцией на высокие темпы развития ВИЭ в условиях наличия повышающих коэффициентов и обязательного выкупа государством полученной энергии при недостатке бюджетных средств, предназначенных для этих целей. В соответствии с действующим в Беларуси механизмом число инвесторов и объемы строительства новых установок ограничены (помимо установок, используемых только для хозяйственной деятельности, но не для продажи полученной энергии), в то время как наличие повышающих коэффициентов для инвесторов, которым удалось получить квоту, гарантировано в течение 10 лет после ввода установки в эксплуатацию.

На данный момент число заявок на выделение квот на строительство установок, использующих ВИЭ, в разы превышает установленные государством объемы. К примеру, при распределении квот на 2017–2019 годы

⁶⁴ Постановление Министерства экономики Республики Беларусь № 100 «О тарифах на электрическую энергию, производимую из возобновляемых источников энергии, и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь» от 30 июня 2011 г., <http://pravo.newsby.org/belarus/postanov3/pst926.htm>

⁶⁵ Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 6 августа 2015 г. № 662 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь от 26 апреля 2017 г. № 305), <http://www.government.by/upload/docs/fileocfe298f6918f16b.PDF>

полученные заявки суммарно насчитывали 770 МВт, тогда как предполагалось распределить всего 117,42 МВт. Механизм квотирования (как и наличие повышающих коэффициентов) неоднократно подвергался критике в том числе со стороны государственных органов в Республике Беларусь как неэффективный и сводящий темпы развития отрасли к минимуму⁶⁶.

4.3. Государственная политика и перспективы развития транспортного сектора

Транспортный сектор Беларуси по состоянию на 2014 год расходует 24% от всей потребляемой Беларусью энергии (см. приложение 5). Этот показатель сопоставим с общемировым (29%⁶⁷). При этом доля нефтяного топлива в Беларуси на 2014 год составляет 86% (148 ПДж), что значительно ниже общемировой – 92%.

В Беларуси по состоянию на 2015 год зарегистрировано более 3 миллионов автомобилей. Средние темпы прироста составляют 2% (около 70 000 автомобилей в год)⁶⁸. На август 2017 года в Беларуси зарегистрировано около 100 электромобилей и действует семь электростанций⁶⁹. В проекте Программы развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Беларуси на 2016–2025 годы разработаны два сценария развития электромобильного транспорта⁷⁰. По оптимистичному сценарию количество электромобилей в Беларуси может увеличиться до 32,8 тысячи (включая 1,88 тыс. шт. электробусов), а по пессимистическому сценарию – около 10 тысяч штук (включая 0,59 тыс. шт. электробусов). Электрификация легковых автомобилей позволит получить огромную экономию как нефтяного топлива, так и первичной энергии. Беларусь – достаточно компактная страна, чтобы существующие уже сегодня электромобили с пробегом в 300–400 км на одной зарядке могли обеспечить требуемые пользователем показатели.

Коммунальная и городская грузовая техника, как правило, состоит из среднетоннажных грузовых автомобилей. Она является несложной для газификации или электри-

⁶⁶ Заявки инвесторов на введение новых мощностей возобновляемых источников энергии на 2017–2019 годы в 7 раз превысили размер общей квоты, <https://doingbusiness.by/zayavki-investorov-na-vvedenie-novih-moshnostei-vie-v-7-raz-previsili-razmer-obshei-kvoti>

⁶⁷ IEA World Energy Balance, 2014, <https://www.iea.org/Sankey/>

⁶⁸ Статистический сборник «Транспорт и связь в Республике Беларусь», 2016, http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_5100/

⁶⁹ Sputnik.by, 2017. ГАИ: в Беларуси зарегистрировано около 100 электромобилей, <https://sputnik.by/society/20170825/1030483295/gai-v-belarusi-zaregistrirvano-okolo-100-ehlektromobilej.html>

⁷⁰ Министерство энергетики Республики Беларусь, проект Программы развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Республике Беларусь на 2016–2025 годы.

фикации (небольшие расстояния для перевозки, средняя масса транспортного средства, близость зарядных станций). Коммунальную технику ввиду воздействия на качество городского воздуха следует переводить на перспективные виды топлива в первую очередь. Электрификация или газификация крупнотоннажных грузоперевозок автомобильным грузовым транспортом также возможна, но необходимые технологии, как правило, еще на стадии разработки.

Железнодорожный транспорт является одним из самых энергоэффективных видов транспорта. В Беларуси по состоянию на 2015 год железнодорожным транспортом осуществляется 32% всех грузоперевозок и 30% всех пассажирских перевозок от всех перевозок общественно-го транспорта (то есть не включая легковой транспорт)⁷¹. Низкая плотность железной дороги⁷² препятствует более эффективному задействованию железнодорожного транспорта. Доля электрификации путей гораздо ниже доли перевозок электровозами (на 2016 год электрифицированными являются только 21% путей)⁷³.

По состоянию на 2015 год в Беларуси парк общественного транспорта насчитывает 4680 автобусов и 1700 троллейбусов, 322 трамвая и 361 вагон метро⁷⁴. Города Беларуси характеризует низкая доля использования городского трамвая – одного из самых энергоэффективных городских видов транспорта⁷⁵.

В настоящее время действует национальная стратегия (2013–2020 гг.) по снижению загрязнения воздуха от транспорта. Одной из целей стратегии является увеличение доли электротранспорта (включая железнодорожный и автомобильный) с текущих 45% от объема всех перевозок городским пассажирским транспортом в крупных городах до 50%.

Данная цель технологически осуществима: уже сегодня существуют электробусы, работающие на аккумуляторных батареях, вместимостью 60–80 человек и с запасом хода в 250 км. В проекте Программы развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта оценены потенциальный рост объемов электробусов и потребляемая ими электроэнергия. По оптимистическому прогнозу к 2025 году в Беларуси появится около 1,9 тыс. электробусов, при этом они будут потреблять 0,14 ТВт·ч электроэнергии.

⁷¹ Статистический сборник «Транспорт и связь в Республике Беларусь», 2016, http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_5100/

⁷² Согласно сборнику «Транспорт и связь в Республике Беларусь», плотность покрытия железных дорог Беларуси составляет 26 км путей на 1000 км², что в 5 раз меньше, чем в Германии, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B5%D1%82%D1%8C

⁷³ Статистический сборник «Транспорт и связь в Республике Беларусь», 2016, http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_5100/

⁷⁴ Статистический сборник «Транспорт и связь в Республике Беларусь», 2016, http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_5100/

⁷⁵ Общая длина трамвайных линий в городах Беларуси равна 62 км, что, например, меньше, чем длина трамвайных линий Хельсинки (91 км) или Берлина (190 км).

Беларусь не является лидером в вопросах внедрения современных городских транспортных политик. Тем не менее она, хоть и с некоторой задержкой относительно более инфраструктурно развитых стран Евросоюза, начинает следовать всем основным трендам в этой отрасли. В качестве примера удачных стратегий в области управления транспортом можно привести хорошую результативность работ по уменьшению ДТП. Например, Минская городская концепция обеспечения безопасности дорожного движения привела к снижению гибели людей в 2,5 раза за 10 лет⁷⁶.

Задача достижения амбициозных целей в транспортной сфере в городах является реальной, так как на сегодня эта сфера в Беларуси практически неоптимизирована и имеет достаточно большие резервы по всем параметрам. Например: личный автомобиль в городе как правило простаивает 20–22 часа в день, занимая при этом 18 м² городского пространства, при движении на дороге занимает 60 м²/пассажира, перевозит в среднем 1,5 человека, имеет общий КПД около 30%. В то же время у автобуса и даже такси-электромобиля соответствующие показатели будут значительно лучше. На перевозку личным автотранспортом в Беларуси приходится сегодня 67% от всех перевозок.

В условиях значительной неопределенности развития транспортного сектора не так важна задача решить, какой именно тип транспорта будет доминировать в городе, сколько понять:

- сформулированы ли городом критерии удобной транспортной системы (например, частота сообщения, регулярность, доступность, эргономичность, уровень ДТП и др.);
- определена ли емкость отдельных показателей транспортной системы города (например, сколько легковых автомобилей может себе позволить город парковать в день в отдельно взятом квартале, желаемый уровень загазованности на каждой улице) и созданы ли механизмы, регулирующие достижение этих показателей;
- сформулированы ли цели и индикаторы транспортной системы и заложены ли соответствующие стратегии, выставлены ли приоритеты развития видов транспорта.
- созданы ли условия для управления транспортным спросом и достижения целей (инструменты государственной политики и регуляторные механизмы), созданы ли условия для развития приоритетных видов транспорта.

В таблице 4.1 представлен анализ применения перспективных инструментов государственной политики в транспортном секторе Беларуси, необходимых для реализации сценария Энергетической [р]еволюции, а также приведены рекомендации, какие инструменты еще необходимо внедрить.

⁷⁶ Белорусская ассоциация экспертов и сюрвейеров на транспорте. SAFETYMETER мониторинг, <http://baes.by/index.php/dobraia-doroga/%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7>

Таблица 4.1. Перспективные инструменты государственной политики в транспортном секторе

Политика или инструмент	Применение в Беларуси	Что необходимо внедрить?
Городские и национальные транспортные стратегии, планы	<ul style="list-style-type: none"> Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух в Беларуси на период до 2020 года⁷⁷; Государственная программа развития транспортного комплекса Беларуси на 2016–2020 годы⁷⁸; Республиканская программа развития логистической системы и транзитного потенциала на 2016–2020 годы⁷⁹. 	<p>В городских и в национальных стратегических документах нет четко зафиксированных приоритетов развития транспортного сектора: вначале необходимо проводить мероприятия по развитию пешеходного и велосипедного движения, портативного транспорта, затем общественного пассажирского транспорта, затем личного автомобильного транспорта.</p> <p>Нет комплексных городских транспортных стратегий, исключая разрабатываемые в настоящий момент для двух городов (Полоцк и Новополоцк) планов мобильности.</p>
Механизмы управления транспортным спросом	Частично применяются – платные парковки в городах.	<ul style="list-style-type: none"> создать зону платной автомобильной парковки во всех центрах больших городов; ввести платный въезд в города; запретить транзитное движение через города; сделать некоторые улицы пешеходными; снизить ограничение скорости в городах до 30 и 50 км/час.
Градостроительные проекты, снижающие потребность в перемещении жителей	Не применяется.	Стимулировать строительство многофункциональной застройки, снижающей потребность в перемещении жителей.
Механизмы экономической компенсации негативного экологического воздействия транспорта	Не применяется.	<ul style="list-style-type: none"> разработка методологии определения полных затрат общества на поездки различными видами транспорта; разработка экономического механизма, который бы компенсировал обществу скрытую субсидию на использование транспортного средства и стимулировал граждан использовать наиболее экологически, энергетически и экономически эффективный вид транспорта.
Умные логистические схемы доставки (smart logistics)	Не применяется.	Создание логистических микрохабов в городе, развитие интернет-покупок.
Развитие городского пассажирского транспорта	Концепция повышения качества услуг по перевозке пассажиров транспортом общего пользования в городе Минске на 2015–2020 годы ⁸⁰ .	Необходимо стимулировать повышение качества и скорости пассажирского транспорта, а также его электрификации.
Мультиmodalность	Не применяется.	Создание транспортной системы, в которой можно легко комбинировать виды транспорта.
Каршеринг, карпул	Не применяется.	Развитие различных форм совместного использования поездок на автомобиле, стимулирование отказа от владения автомобилем в исключительной собственности.
Беспилотные автомобили	Не определены в законодательстве.	Подготовка нормативной базы для распространения технологии.
Электромобили	Программа развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Республике Беларусь на 2016–2025 годы ⁸¹ .	Утверждение разработанного проекта программы и ее внедрение.
Велотранспорт и байкшеринг	Концепция обеспечения городской системы велосипедного движения в г. Минске ⁸² .	Постановка амбициозных целей в области развития велодвижения и разработка соответствующих программ, стимулирование использования велотранспорта, создание городских велопрокатов.
Развитие пешеходного движения и портативного транспорта	Не применяется.	<ul style="list-style-type: none"> стимулирование использования скутеров, сигвеев, хOVERбордов, самокатов и иного портативного транспорта; создание пешеходных улиц, изменение характера улиц, более способствующих пешеходному движению; переработка соответствующих нормативных документов.

⁷⁷ Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта на атмосферный воздух Республики Беларусь на период до 2020 года, http://www.minpriroda.gov.by/ru/new_url_2009876790-ru/

⁷⁸ Государственная программа развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы, <http://www.government.by/upload/docs/file591cd03b057946c1.PDF>

⁷⁹ Республиканская программа развития логистической системы и транзитного потенциала на 2016–2020 годы, <http://government.by/ru/solutions/2556>

⁸⁰ Концепция повышения качества услуг по перевозке пассажиров транспортом общего пользования в городе Минске на 2015–2020 годы, http://baes.by/images/documents/concept/concept_opt_2015-2020.pdf

⁸¹ Министерство энергетики Республики Беларусь, проект Программы развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Республике Беларусь на 2016–2025 годы.

⁸² Концепция обеспечения городской системы велосипедного движения в г. Минске, <https://minsk.gov.by/ru/normdoc/3302/konceptiya.shtml>

5

Методология

- Вступление к сценарному подходу
- Сценарный подход
- Основные допущения сценария
- Изменение потребления
- Прогнозы цен на нефть и газ
- Прогнозы цен на технологии эффективной генерации на основе ископаемых видов топлива и выбросы CO₂
- Прогнозы развития технологий возобновляемой энергии
- ВИЭ в секторе теплоэнергетики
- Потенциал возобновляемой энергетики Беларуси



5.1. Вступление к сценарному подходу

Переход к более устойчивой энергетической системе предполагает низкоуглеродное энергообеспечение, позволяющее избежать воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Меры по борьбе с изменением климата требуют долгосрочного планирования, так как для создания энергетической инфраструктуры и разработки новых энергетических технологий необходимо время. Кроме того, на вступление в силу изменений государственной политики часто также требуется достаточно много времени. Однако переход к энергетической системе, в основе которой лежит преимущественно возобновляемая энергия, обещает огромные экономические выгоды в долгосрочной перспективе благодаря гораздо меньшему потреблению постоянно дорожающего импортного топлива, запасы которого ограничены. Поэтому любое исследование в области энергетики и окружающей среды должно исходить из прогнозов развития на период не менее чем до середины столетия.

Сценарии являются необходимым инструментом для описания возможных путей развития, а также дают возможность лицам, принимающим решения, получить общее представление о вопросе и понять, какие существуют ограничения для изменения энергетической системы в будущем. Для оценки ограничений будущей энергетической системы в данном документе мы разрабатываем два сценария, чтобы продемонстрировать широкий спектр возможных путей развития будущей системы энергообеспечения:

- **Базовый сценарий**, отображающий продолжение текущих тенденций и политик;
- **сценарий Энергетической [р]еволюции**, разработанный для достижения ряда целей экологической политики, который приводит к оптимистичному, но все же реалистичному переходу на значительно декарбонизированную энергетическую систему до 2050 года и при этом выполняются основные допущения Базового сценария.

В целом сценарий Энергетической [р]еволюции никоим образом не предсказывает будущее, он просто описывает и сравнивает возможные пути развития, предлагаемые многочисленными возможными сценариями будущего. Принцип всех сценариев Энергетической [р]еволюции заключается в том, чтобы определить меры и действия, необходимые для достижения амбициозных целей, заложенных в этих сценариях, а также продемонстрировать имеющиеся варианты преобразования нашей системы энергообеспечения в более устойчивую. Сценарии могут служить надежным основанием для дальнейшего анализа возможных подходов и концепций для реализации вариантов осуществления энергетического перехода.

5.1.1. Основные допущения сценариев

Базовый сценарий основывается на исследовательском подходе. В его основе лежит последний глобальный сценарий Энергетической [р]еволюции⁸³ для стран Евразии. Он основан на сценариях Текущей политики (business as usual), опубликованных Международным энергетическим агентством (МЭА) в Прогнозе мировой энергетики на 2014 год⁸⁴, которые учитывают только существующие международные энергетические и экологические политики. Кроме того, данный сценарий адаптирован к Беларуси за счет комплексного анализа национальной энергетической политики и государственных программ, уделяя особое внимание повышению уровня энергоэффективности и развитию возобновляемой энергетики⁸⁵. Базовый сценарий не включает в себя дополнительные политики по сокращению выбросов парниковых газов и был рассмотрен национальными экспертами⁸⁶. Базовый сценарий предоставляет данные, которые служат основой для проведения сравнения со сценарием Энергетической [р]еволюции.

Сценарий Энергетической [р]еволюции ориентирован на конкретную цель. Он основан на последней глобальной обновленной версии сценария Э[Р] для Евразии, который был опубликован в 2015 году, и в качестве главной цели предусматривает сокращение глобальных выбросов диоксида углерода, образующихся в результате потребления энергии, до уровня около 4 Гт в год к 2050 году с целью ограничения роста температуры на планете в пределах 2°C. Еще одной целью сценария является постепенный отказ всех стран мира от использования атомной энергии. Сценарий Э[Р] предусматривает принятие решительных мер, направленных на энергообеспечение преимущественно за счет возобновляемых источников энергии и сокращение зависимости Беларуси от импортного газа. Сценарий предусматривает приложение существенных усилий, направленных на полное использование большого потенциала повышения энергоэффективности при помощи наилучших доступных технологий. В то же время хорошо зарекомендовавшие себя возобновляемые источники энергии в значительной степени интегрированы в секторы теплоэнергетики и электроэнергетики, а также производство биотоплива и водорода. Общие базовые параметры демографического развития и роста ВВП остаются неизменными по сравнению с Базовым сценарием.

Благодаря более высокой энергоэффективности концептов новых транспортных средств и допущениям относительно изменений в перераспределении долей перевозок по видам транспорта по сравнению с предыдущей вер-

⁸³ Teske, S., S. Sawyer, O. Schäfer, T. Pregger, S. Simon, et al. (2015). Energy [R]evolution – A sustainable world energy outlook 2015. S. Teske, S. Sawyer and O. Schäfer, Greenpeace International

⁸⁴ IEA (2014). World Energy Outlook 2014. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

⁸⁵ И. Филютин (2016). Доклад «Сбор данных и анализ Базового сценария для Энергетической [р]еволюции», Беларусь. Не опубликован. Институт энергетики Национальной академии наук Республики Беларусь.

⁸⁶ И. Филютин, А.Ж. Гребеньков и С. Никитин (2017). Рецензия сценария Энергетической [р]еволюции, Институт энергетики Национальной академии наук Республики Беларусь, Программа развития Организации Объединенных Наций.

сией глобального сценария Э[Р], конечное потребление энергии транспортом существенно сокращается. Однако данный сценарий требует кардинальных изменений моделей мобильности и поведенческих моделей, а также развития инфраструктуры, чтобы компенсировать высокие потери энергии, связанные с получением водорода на основе возобновляемой электроэнергии. Последняя приобретает все большее значение в секторе теплоэнергетики, все чаще заменяя отживающий свое природный газ. Соответственно, производство электроэнергии при помощи возобновляемых источников энергии должно стать основной «первичной энергией» будущего.

Построение сценария Энергетической [р]еволюции базируется на системе целей и основных допущений, существенно влияющих на развитие отдельных технологических и структурных характеристик для каждого региона и каждого сектора. Основные допущения, рассматриваемые в рамках построения этого сценария, приведены ниже.

В целом существенное повышение уровня энергоэффективности и динамичное развитие возобновляемых источников энергии во всех секторах являются основными стратегиями достижения общей цели по сокращению выбросов CO₂. Технологии улавливания и хранения углерода (CCS) не используются, и по прошествии определенного времени осуществляется постепенный отказ от использования ядерной энергии. С учетом имеющихся сведений о потенциале, издержках и последних тенденциях в области внедрения возобновляемых источников энергии (см. следующий раздел «Сценарный подход») предполагается динамичный дальнейший рост генерирующих мощностей тепла и электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии.

Из соображений экологической устойчивости количество генерирующих мощностей, работающих на биомассе, и мощностей крупных ГЭС в глобальном сценарии Энергетической [р]еволюции остается ограниченным. Ветровые и солнечные фотоэлектрические электростанции должны стать важными основополагающими элементами будущего энергообеспечения. С целью резервного энергоснабжения может быть задействовано незначительное количество электростанций, работающих на биомассе, а также незначительное увеличение генерирующих мощностей малых и средних гидроэлектростанций. И, наконец, сценарием предусмотрено использование водорода как решения для балансирования возрастающей доли нестабильных источников производства электроэнергии и поддержания достаточной доли контролируемой обеспеченной мощности.

Согласно данным Института энергетики НАН Беларуси, потенциал устойчивой биомассы в Беларуси ограничен и составляет менее 250 ПДж для производства электроэнергии, тепла и биотоплива⁸⁷. Однако ограниченный импорт биотоплива, произведенного согласно принципам устойчивости в соседних странах, таких как Украина, Россия или государства ЕС, представляется целесообразным и будет в значительной степени зависеть от рынков биомассы. Традиционное использование биомассы в значительной степени замещается современными тех-

нологиями, прежде всего — высокоэффективными когенерационными станциями.

Повышение уровня энергоэффективности в транспортном секторе является результатом перераспределения перевозок между видами транспорта, роста популярности высокоэффективных видов транспортных средств, таких как электромобили, предполагаемых изменений в поведенческих моделях вождения, а также реализации мер по повышению эффективности двигателей внутреннего сгорания. По мнению белорусских экспертов, эти меры уже частично запланированы в текущей политике Беларуси⁸⁸. Однако скорость внедрения этих мер значительно увеличивается в сценарии Энергетической [р]еволюции.

Сценарий Энергетической [р]еволюции также предусматривает в секторе теплоэнергетики значительное увеличение использования электроэнергии благодаря увеличению потенциала возобновляемой энергии и ограниченному использованию возобновляемых видов топлива для высокотемпературного технологического тепла в промышленности. Кроме того, предполагается быстрое развитие централизованного и солнечного теплоснабжения, дополняемого внедрением геотермальных тепловых насосов. Все это приводит к увеличению потребления электроэнергии.

Увеличение доли нестабильных возобновляемых источников энергии, в частности ветровых и солнечных фотоэлектрических станций, потребует внедрения интеллектуальных энергосетей, быстрого развития сетей электропередачи, увеличения аккумулирующих и других балансирующих мощностей. Другие инфраструктурные потребности связаны, например, с возрастающей ролью электромобилей.

5.1.2. Сценарный подход

Сценарий Энергетической [р]еволюции, приведенный в настоящем докладе, был подготовлен Департаментом системного анализа и оценки технологий Института технической термодинамики Аэрокосмического центра Германии (DLR) по заказу Фонда Генриха Белля.

Сценарий Энергетической [р]еволюции для Беларуси ориентирован на конкретную цель. Соответственно, он не должен рассматриваться как прогноз будущего развития энергетических систем. Аналогично всем другим сценариям Энергетической [р]еволюции сценарий для Беларуси был разработан с использованием преимущественно метода сравнения «снизу-вверх» (на основании технологий). Предполагаемые темпы демографического развития, роста ВВП, удельного потребления и развития технологий возобновляемой энергии являются важными факторами. На основании этих факторов национальные эксперты⁸⁹ подготовили новые прогнозы энергопотребления, опираясь на анализ будущего потенциала по повышению энергоэффективности до 2050 года.

⁸⁸ Горбунов П. (2016). Обзор электрического транспорта Беларуси. Семинар «Сценарий Энергетической [р]еволюции Беларуси. Центр экологических решений. Минск, Беларусь.

⁸⁹ И. Филютин (2016). Доклад «Сбор данных и анализ Базового сценария для Энергетической [р]еволюции», Беларусь. Не опубликован. Институт энергетики НАН Республики Беларусь, Горбунов П. (2016). Обзор электрического транспорта Беларуси. Семинар «Сценарий Энергетической [р]еволюции Беларуси». Центр экологических решений. Минск, Беларусь.

⁸⁷ И. Филютин (2016). Доклад «Сбор данных и анализ Базового сценария для Энергетической [р]еволюции», Беларусь. Не опубликован. Институт энергетики Национальной академии наук Республики Беларусь.

Сценарии энергообеспечения были рассчитаны с помощью симуляционной модели Mesap/PlaNet, использованной в предыдущих исследованиях Энергетической [р]еволюции⁹⁰. В этой модели не используется метод оптимизации затрат при расчете развития энергетических технологий. Она, скорее, требует последовательного экзогенного определения возможных изменений для достижения целей. Пути последовательного развития определяются и интегрируются в базу данных модели на основе допущений и информации о технических и структурных вариантах преобразования энергетической системы с учетом, насколько это возможно, потенциальных барьеров и ограничений. Таким образом, модель как система учета рассчитывает будущие энергетические балансы для всех секторов, а также соответствующие инвестиции и затраты в энергетическом

секторе. Количественные цели для преобразования энергетических систем устанавливают рамки для ее проектирования. Основой модели является база данных технологий, которая включает технико-экономические данные по всем секторам энергосектора (см. рис. 5.1).

Структура и начальная параметризация энергетической системы взяты из расширенных энергетических балансов, опубликованных в 2014 году Международным энергетическим агентством (МЭА)⁹¹. Статистические данные за исходный 2014 год были откорректированы с учетом национальных статистических данных⁹².

Активное развитие возобновляемой энергетики, определенное в сценарии, основывается на последних технологических тенденциях⁹³, прогнозах развития рынка

Рис. 5.1. Обзор структуры модели Mesap/PlaNet



⁹⁰ Teske, S., S. Sawyer, O. Schäfer, T. Pregger, S. Simon, et al. (2015). Energy [R]evolution – A sustainable world energy outlook 2015. S. Teske, S. Sawyer and O. Schäfer, Greenpeace International. Teske, S., T. Pregger, S. Simon, T. Naegler, M. O’Sullivan, et al. (2012). Energy [R]evolution – a sustainable world energy outlook – 4th edition 2012. S. Teske, J. Muth and S. Sawyer, Greenpeace International, Global Wind Energy Council (GWEC).

⁹¹ IEA (2016). World Energy Balances (2016 edition). IEA energy statistics (Beyond 20/20). Paris, International Energy Agency.

⁹² И. Филютич (2016). Доклад «Сбор данных и анализ Базового сценария для Энергетической [р]еволюции», Беларусь. Не опубликован. Институт энергетики НАН Республики Беларусь.

⁹³ REN21 (2016). Renewables 2016 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century).

возобновляемой энергетики⁹⁴ и доступной информации о потенциале возобновляемой энергетики Беларуси (сравнение приведено в разделе 5.2.6.), а также стоимости технологий ВИЭ в Европе⁹⁵.

Прогнозы относительно технологий и стоимости для сектора теплоэнергетики взяты из базового исследования текущего состояния рынка теплоэнергетических технологий, использующих возобновляемые источники энергии, а также исследования относительно стоимости и состояния развития технологий, проведенного DLR по заказу Европейского совета по возобновляемой энергии (EREC). С более подробной информацией можно ознакомиться также в глобальном исследовании Энергетической [р]еволюции за 2012 год.

5.2. Основные допущения сценария

5.2.1. Изменение потребления

Демографическое развитие и экономический рост являются основными факторами изменения энергопотребления. Начиная с 1971 года увеличение общемирового валового внутреннего продукта (ВВП) на один процент сопровождалось увеличением потребления первичной энергии на 0,6%⁹⁶. Следующие разделы содержат описание демографического развития и экономического роста, которые используются в качестве исходных данных для моделирования обоих сценариев для Беларуси.

Демографическое развитие

Будущее демографическое развитие является важным фактором для построения энергетического сценария, влияющим на объемы и структуру энергопотребления как непосредственно, так и посредством его воздействия на экономический рост и развитие. В случае со сценарием Энергетической [р]еволюции мы использовали прогнозы демографического развития, подготовленные Программой развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) на период до 2050 года⁹⁷.

⁹⁴ EPIA (2014). Market Report 2013, European Photovoltaic Industry Association.

GWEC (2014). Global Wind Statistics 2013, Global Wind Energy Council.

WEC (2015). World Energy Resources – Charting the Upsurge in Hydropower Development 2015, World Energy Council.

⁹⁵ Pietzcker, R. C., D. Stetter, S. Manger and G. Luderer (2014). Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaics and concentrating solar power. Applied Energy 135: 704–720.
Deng, Y. Y., M. Haigh, W. Pouwels, L. Ramaekers, R. Brandsma, et al. (2015). Quantifying a realistic, worldwide wind and solar electricity supply. Global Environmental Change 31: 239–252.

IRENA (2015). Renewable Power Generation Costs in 2014, International Renewable Energy Agency.

DLR (2016): REMix Endat modelling results provided by the German Aerospace Center, Institute of Engineering Thermodynamics.

⁹⁶ IEA (2014). World Energy Outlook 2014. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

⁹⁷ UNPD. (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision. Retrieved 1.2.2016, 2016, from <http://esa.un.org/unpp/>

Таблица 5.1. Прогнозы демографического развития для Беларуси

год	2014	2020	2025	2030	2040	2050
млн	9,5	9,4	9,2	9,0	8,5	8,1

Источник: прогнозы развития ПРООН, средний сценарий.

Данные, приведенные в таблице 5.1, указывают на то, что население Беларуси, как ожидается, в среднем будет сокращаться на 0,4% в год за период с 2014 по 2050 годы – с 9,5 млн человек в 2014 году до 8,1 млн человек к 2050 году. Удовлетворение энергетических потребностей населения и реформирование инфраструктуры экологически приемлемыми способами являются основной задачей на пути к устойчивому энергообеспечению.

Экономический рост

Основой роста энергопотребления является экономический рост. Соответственно, уход от зависимости между ростом энергопотребления и ростом ВВП является необходимым предварительным условием Энергетической [р]еволюции. Однако в ближайшие десятилетия темпы роста ВВП, как ожидается, замедлятся.

В нашем моделировании мы использовали обменные курсы на основе паритета покупательной способности (ППС) для сравнения стоимости технологий в различных странах мира. Хотя оценки ППС все еще относительно неточны по сравнению со статистическими данными, полученными на основе национального дохода, торговли товарами и индексов внутренних цен, считается, что они более эффективны для построения сценария⁹⁸. Таким образом, все данные об экономическом развитии, представленные в Прогнозе мировой энергетики (ПМЭ) за 2014 год, включают ВВП, скорректированный по ППС. Рост национального ВВП Беларуси основывается на Прогнозе мировой энергетики за 2014 год⁹⁹ и, как ожидается, его темпы составят 3,25% до 2020 года и 3,18% до 2040 года. Однако в связи с тем что ПМЭ за 2014 год охватывает лишь период до 2040 года, мы используем темпы роста для Евразии, приведенные в сценарии Энергетической [р]еволюции за 2015 год. Они, как ожидается, составят 2,25% до 2050 года.

Сценарии энергопотребления и потенциал энергоэффективности

Результаты, полученные (на основе приведенных выше источников) относительно удельного энергопотребления отраслей промышленности и других секторов, были подвержены сравнению и анализу на основе региональных показателей для Евразии, взятых из глобального сценария Энергетической [р]еволюции за 2015 год.

⁹⁸ Nordhaus, W, Alternative Measures of Output in Global Economic-Environmental Models: Purchasing Power Parity or Market Exchange Rates?, report prepared for IPCC Expert Meeting on Emission Scenarios, US-EPA Washington DC, January 12-14, 2005.

⁹⁹ IEA (2014). World Energy Outlook 2014. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

5.2.2. Прогнозы цен на нефть и газ

В последние годы в мире наблюдалось существенное колебание цен на нефть, которое оказало воздействие на прогнозируемые цены. Согласно сценарию высоких цен на нефть и газ, опубликованному Европейской комиссией в 2004 году, цена на нефть в 2030 году составит всего 34 долл. за баррель. Согласно более поздним прогнозам цен на нефть к 2040 году, приведенным в ПМЭ МЭА за 2014 год, цены на нефть могут колебаться от 100 долл. США (в ценах 2013 г.) за баррель согласно сценарию 450 мд до 155 долл. США (в ценах 2013 г.) за баррель согласно сценарию Текущей политики.

Таблица 5.2. Прогнозы относительно динамики цен на ископаемое топливо и биомассу (в ценах 2013 года) для Беларуси на основании допущений, подготовленных для Евразии

	Сценарий	Единица измерения	2014	2020	2030	2040	2050
Сырая нефть	БС	Евро/ГДж	13,9	15,2	18,2	20,3	19,6
	Э[Р]	Евро/ГДж	13,9	15,2	14,6	13,1	12,8
Каменный уголь	БС	Евро/ГДж	3,7	3,7	4,1	4,3	4,6
	Э[Р]	Евро/ГДж	3,7	3,7	2,9	2,7	2,6
Природный газ	БС	Евро/ГДж	9,0	9,7	11,2	11,8	12,5
	Э[Р]	Евро/ГДж	9,0	9,6	8,9	7,8	7,1
Биомасса	БС и Э[Р]	Евро/ГДж	3,4	3,7	4,2	4,6	5,1

Поскольку возможности для поставок природного газа ограничены наличием газопроводных сетей, мировых рыночных цен на газ не существует. В большинстве регионов мира цена на газ напрямую привязана к цене на нефть. Для Беларуси цены на ископаемое топливо основаны на допущениях для Евразии, опубликованных в глобальном сценарии Энергетической [р]еволюции за 2015 год¹⁰⁰.

5.2.3. Прогнозы цен на технологии эффективной генерации на основе ископаемых видов топлива и выбросы CO₂

Допущения относительно прямых инвестиционных и эксплуатационных затрат на угольные, газовые, лигнитные и нефтяные электростанции взяты из специального доклада по инвестициям ПМЭ за 2014 год¹⁰¹. Поскольку эти технологии в данный момент на достаточно продвинутом технологическом и рыночном этапе развития, потенциал для сокращения их стоимости ограничен. С более подробной

Со времени публикации в 2007 году первого исследования, посвященного Энергетической [р]еволюции, фактическая цена на нефть впервые в истории перевалила за 100 долл. США за баррель и в июле 2008 года достигла рекордной отметки в более чем 140 долл. США за баррель. Затем цены на нефть упали до 100 долл. США за баррель в сентябре 2008 года и около 80 долл. США за баррель в апреле 2010 года, но впоследствии вновь выросли до более чем 110 долл. США за баррель в начале 2012 года. В начале 2014 года цены на нефть начали стремительное падение до отметки 40–60 долл. США за баррель. В отличие от предыдущих редакций сценариев Э[Р] в этом исследовании используются другие допущения для Базового сценария по сравнению со сценариями Энергетической [р]еволюции (см. таблицы 5.2).

информацией можно ознакомиться в глобальной редакции сценария Энергетической [р]еволюции за 2015 год.

В сценарии Энергетической [р]еволюции не рассматриваются затраты на выведение из эксплуатации атомных электростанций. Это связано с тем, что даже существующая энергетическая система не учитывает полную стоимость процесса выведения из эксплуатации АЭС. С другой стороны, это связано с отсутствием данных относительно этих затрат, что также является причиной пренебрежения ими в существующей системе.

Перспективы создания эффективной глобальной системы торговли квотами на выбросы CO₂ во всех регионах мира в настоящее время в лучшем случае неясны. В отличие от предыдущих версий сценария Энергетической [р]еволюции, пересмотренные редакции (начиная с 2015 года) полностью исключают ценообразование на выбросы CO₂. Оно также не рассматривается в сценарии Энергетической [р]еволюции для Беларуси. Таким образом, сравнение затрат сценариев осуществляется только в части инвестиционных и эксплуатационных затрат, затрат на техническое обслуживание и стоимости топлива.

Таблица 5.3 представляет собой краткое описание наших допущений относительно технических и экономических параметров будущих технологий для электростанций, работающих на ископаемом топливе. Исходя из оценок, представленных в ПМЭ за 2014 год, мы предположили, что дальнейшие технические инновации не позволят избежать увеличения в будущем инвестиционных затрат по причине продолжения роста цен на сырье и увеличения технической сложности. Кроме того, меры, направленные на повышение энергоэффективности электростанций, нивелируются ожидаемым ростом цен на ископаемое топливо. Это приведет к существенному увеличению затрат на производство электроэнергии.

¹⁰⁰ Teske S., S. Sawyer, O. Schäfer, T. Pregger, S. Simon, et al. (2015). Energy [R]evolution – A sustainable world energy outlook 2015. S. Teske, S. Sawyer and O. Schäfer, Greenpeace International.

IEA (2014). World Energy Outlook 2014. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

¹⁰¹ IEA (2014). IEA World Energy Investment Outlook 2014 – Power Generation in the New Policies and 450 Scenarios – Assumed investment costs, operation and maintenance costs and efficiencies. Paris, International Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

Таблица 5.3. Изменение инвестиционных затрат и затрат на повышение энергоэффективности для некоторых новых технологий электростанций; примерные данные по Беларуси

		2014	2020	2030	2040	2050
Газовые электростанции	энергоэффективность (%)	42	43	45	47	49
	инвестиционные затраты (евро/кВт)	546	534	515	517	539
Парогазовые тепловые электростанции	энергоэффективность (%)	75	80	82	85	86
	инвестиционные затраты (евро/кВт)	841	841	841	841	841

Источник: ПМЭ за 2014 год и собственные допущения авторов.

5.2.4. Прогнозы развития технологий возобновляемой энергии

Существующие сегодня различные технологии возобновляемой энергии отличаются уровнем технического развития, стоимостью и потенциалом развития. В то время как энергия воды широко используется уже в течение десятилетий, другие технологии, такие как газификация биомассы или энергия океана, еще не достигли рыночной зрелости. Для некоторых возобновляемых источников, включая ветровую и солнечную энергию, характерно нестабильное производство электроэнергии и требуется пересмотр координации в энергетической сети. Однако, несмотря на то что в большинстве случаев технологии возобновляемой энергии являются «распределенными» – вырабатываемая с их помощью электроэнергия поставляется местным потребителям, – в будущем мы можем наблюдать их масштабное применение в виде парков морских ветровых электростанций, фотоэлектрических станций или концентрирующих солнечных электростанций.

Можно разработать широкий спектр решений для достижения рыночной зрелости, используя индивидуальные преимущества различных технологий, связывая их друг с другом и постепенно интегрируя их в существующие структуры энергообеспечения. Такой подход обеспечит дополнительный набор экологически безопасных технологий для тепло- и энергоснабжения, а также обеспечения топливом транспортных средств.

Большинство технологий возобновляемой энергии, применяемых сегодня, находятся на ранней стадии рыночного развития. Тем не менее существуют широкие возможности для их удешевления за счет технических и производственных усовершенствований (в отличие от традиционных технологий), а также широкомасштабного производства. Динамические тенденции изменения стоимости с течением времени играют решающую роль в определении экономически обоснованных стратегий развития для сценариев, охватывающих несколько десятилетий.

Для определения изменения стоимости в долгосрочной перспективе в модельных расчетах были применены кривые роста производительности, чтобы показать, как меняется стоимость конкретной технологии в зависимости от суммарного объема производства. Допущения относительно будущей стоимости возобновляемой электроэнергии строятся на прогнозах относительно стоимости, представленных в глобальном сценарии Энергетической [р]еволюции 2015 года. Допущения относительно стоимости для Беларуси на 2050 год были рассмотрены нацио-

нальными экспертами. В настоящем докладе мы обсуждаем только те технологии, которые были определены как применимые на локальном уровне¹⁰². В частности, речь идет об использовании энергии воды, фотоэлектрической солнечной и ветровой энергии, а также геотермальных тепловых насосов и солнечных коллекторов. Кроме того, биомасса и водород рассматриваются в докладе как носители аккумулируемой энергии для всех секторов энергетики.

Полученные инвестиционные затраты были выведены на основании информации, рассчитанной при помощи исследований кривой роста производительности, – в частности исследования Лены Нейдж [Lena Neij]¹⁰³; анализа будущего технологий и исследований дорожной карты, включая финансируемый Европейской комиссией проект NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability)¹⁰⁴ или Перспективы энергетических технологий МЭА (2008) и прогнозов, подготовленных Европейским советом по возобновляемой энергии, опубликованных в апреле 2010 года (Re-Thinking 2050), а также обсуждений с экспертами различных секторов возобновляемой энергетики.

Фотоэлектрическая энергетика

Мировой рынок фотоэлектрических (PV) панелей в последние годы демонстрирует ежегодный рост на уровне 25%, при этом прирост установленных генерирующих мощностей в 2014 году составил 40 ГВт¹⁰⁴ и на данный момент вносит существенный вклад в производство электроэнергии. Фотоэлектрический сектор имеет большое значение по причине его децентрализованной/централизованной вариативности и возможности адаптации к использованию в городской среде, а также огромного потенциала в части сокращения стоимости. Сектор фотоэлектрической энергетики все в большей степени использует этот потенциал на протяжении нескольких последних лет, при этом стоимость установок сократилась более чем наполовину за этот период. Текущие разработки сосредоточены на

¹⁰² Л. Раславичюс (2012). «Сектор возобновляемой энергии в Беларуси: Обзор». Обзоры возобновляемой и устойчивой энергии 16(7): 5399–5413.

В. Коротинский, В. Танас и К. Гаркуша (2013). «Перспективы развития биоэнергетики в Беларуси». TeKa Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa 13(1).

¹⁰³ Neij L. (2008). Cost development of future technologies for power generation—a study based on experience curves and complementary bottom-up assessments. Energy policy 36(6): 2200–2211.

¹⁰⁴ NEEDS. (2009). The NEEDS Life Cycle Inventory Database. The European reference life cycle inventory database of future electricity supply systems, from <http://www.needs-project.org/needswebdb/index.php>.

¹⁰⁵ EPIA (2014). Market Report 2013, European Photovoltaic Industry Association.

усовершенствовании существующих модулей и системных компонентов за счет улучшения их энергоэффективности и уменьшения расхода материалов. Такие технологии, как тонкопленочные панели (в которых используются альтернативные полупроводниковые материалы) или солнечные элементы на основе сенсibilизированных красок, быстро развиваются и предлагают огромный потенциал для сокращения стоимости. Постоянно улучшается (на 0,5% ежегодно) эффективность освоённой технологии, которая предусматривает использование фотоэлементов на основе кристаллического кремния и подтвержденный срок эксплуатации которой составляет 30 лет, в то время как толщина фотоэлементов быстро уменьшается (с 230 до 180 микрон за последние пять лет). Эффективность коммерческих модулей колеблется от 14% до 21% в зависимости от качества кремния и технологии изготовления.

Коэффициент улучшения производительности фотоэлектрических модулей остается на протяжении последних 30 лет довольно постоянным, при этом стоимость технологии сокращается на 20% с каждым двукратным увеличением установленных мощностей, что свидетельствует о высоких темпах улучшения технических характеристик. Принимая во внимание мировые установленные мощности, в сценарии Энергетической [р]еволюции для Беларуси можно говорить о себестоимости производства на уровне 6 евроцентов за 1 кВт·ч к 2050 году. Цены на электроэнергию, произведенную PV-установками, уже стали конкурентоспособными по отношению к розничным ценам на электроэнергию в некоторых странах мира и в скором будущем станут конкурентными по отношению к стоимости ископаемого топлива.

Ветровая энергетика

За короткий период времени – всего лишь за последние десять лет – активное развитие ветровой энергетике привело к созданию процветающего глобального рынка более чем с 50 ГВт установленных генерирующих мощностей по состоянию на 2014 год¹⁰⁶. В Европе первым стимулом для развития глобального рынка ветровой энергетике стала благоприятная государственная политика. Однако начиная с 2009 года ежегодно более 75% новых генерирующих мощностей устанавливались за пределами Европы, и эта тенденция, скорее всего, сохранится. Повышенный спрос на ветроэнергетические технологии привел к ограниченному предложению и стагнации рынков. В результате стоимость новых систем возросла. Тем не менее отрасль постоянно наращивает производственные мощности, благодаря чему она уже фактически решает проблему с поставками, и в 2014 году возобновила темпы роста, увеличив генерирующие мощности на 6–10 ГВт по сравнению с предыдущими годами. Принимая во внимание прогнозы развития рынка, а также анализ кривой роста производительности и ожидания экспертов отрасли, инвестиционные затраты для ветровых турбин в Беларуси сократятся на 10% к 2050 году по сравнению с 2014 годом согласно сценарию Энергетической [р]еволюции.

Биомасса

Ключевым экономическим фактором использования биоэнергетики является стоимость сырья, которая сегодня сильно варьируется от отрицательной стоимости древесных отходов (благодаря исключению затрат на утилизацию отходов) до дорогостоящих культур. Соответственно, диапазон стоимости производства энергии из биомассы широк.

Одной из наиболее рентабельных технологий является использование древесных отходов теплоэлектростанциями (ТЭС). С другой стороны, газификация твердой биомассы, которая имеет широкие возможности для применения, остается относительно дорогой. В долгосрочной перспективе ожидается повышение рентабельности производства электроэнергии за счет использования древесного газа в микромодулях ТЭС (в двигателях и топливных элементах).

Беларусь располагает высоким потенциалом современных технологий применения биомассы как в стационарных установках, так и в транспортном секторе. В долгосрочной перспективе использование биомассы будет преимущественно зависеть от сельскохозяйственных и лесосечных отходов, отходов деловой древесины и соломы. Однако (ограниченный) импорт устойчивых видов топлива из биомассы является дополнительным фактором, способствующим стабильности энергетической системы и удовлетворению потребностей транспортного сектора. В данном случае рынки сырья установят ограничения на использование отечественной биомассы.

Гидроэнергетика

Энергия воды является незначительным источником электроэнергии в Беларуси, к тому же потенциал ее развития является весьма ограниченным. В сфере устойчивой гидроэнергетики предпринимаются попытки интегрировать электростанции в речные экосистемы, обеспечивая баланс между экологией и экономически привлекательным производством электроэнергии.

Производство водорода

В сценариях Энергетической [р]еволюции водород представлен как возобновляемое топливо, которое будет использоваться после 2040 года, но при этом его доля будет незначительной. Предполагается, что водород будет получать путем электролиза, что приведет к увеличению спроса на электроэнергию, который будет полностью обеспечиваться за счет дополнительных генерирующих мощностей, работающих на возобновляемых источниках энергии (преимущественно энергии ветра и солнца). Таким образом, водород может служить резервным источником энергии для нестабильного производства электроэнергии ветровыми и солнечными электростанциями, гарантируя постоянное бесперебойное энергообеспечение. Обеспечивая дополнительное топливо для транспортной отрасли и сектора теплоэнергетики, водород также будет способствовать сокращению случаев дорогостоящего ограничения генерации ветровых и солнечных установок.

Краткое описание изменения затрат на производство электроэнергии при помощи возобновляемых источников энергии

В таблице 5.4 продемонстрированы тенденции изменения стоимости технологий возобновляемой энергетики, полученные при помощи соответствующих кривых роста производительности. Следует подчеркнуть, что ожидаемое снижение затрат зависит не от времени, а от совокупного количества генерирующих мощностей (установок), что, в свою очередь, требует динамичного развития рынка этих технологий. Удельные инвестиционные затраты большинства технологий могут сократиться на 30–60% от настоящего уровня после достижения максимального развития (после 2040 года).

¹⁰⁶ GWEC (2014). Global Wind Statistics 2013, Global Wind Energy Council.

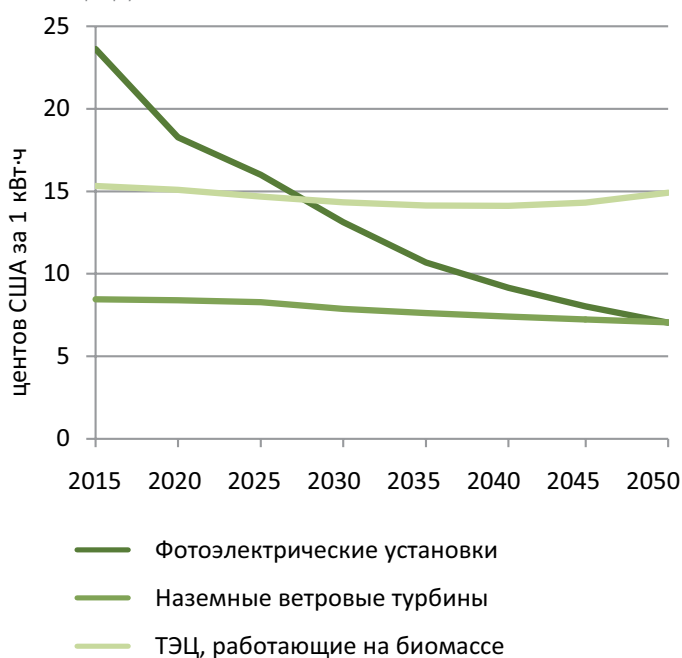
Таблица 5.4. Допущения относительно изменения стоимости технологий возобновляемой энергетики согласно сценарию Э[Р]

		2014	2020	2030	2040	2050
Фотоэлектрические установки	евро/кВт	1600	1251	939	744	550
Наземная ветроэнергетика	евро/кВт	1238	1205	1173	1142	1117
Биомасса (ТЭЦ)	евро/кВт	2718	2686	2643	2713	2733
Малые ГЭС	евро/кВт	2152	2168	2230	2289	2337
Производство водорода	евро/кВт	1238	1083	774	583	510
	Энергоэффективность, %	67	68	71	71	71

Источник: Fraunhofer ISE (2015): *Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende.*

Прямым следствием снижения стоимости инвестиций в технологии возобновляемой энергии является снижение себестоимости производства тепловой и электрической энергии, как это показано на рис. 5.2. В долгосрочной перспективе полная приведенная стоимость электроэнергии в Беларуси, произведенной солнечными и ветровыми электростанциями, приблизится примерно к 5-6 евроцентам за 1 кВт·ч. При этом электроэнергия, произведенная при помощи биомассы, будет существенно дороже – около 13 евроцентов за 1 кВт·ч (согласно расчетам, произведенным без учета стоимости тепла ТЭЦ). Эти оценки зависят от локальных условий, таких как ветровой режим, солнечное излучение, доступность биомассы по приемлемой цене или стоимость тепла в случае комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

Рис. 5.2. Прогнозируемое изменение стоимости производства электроэнергии при помощи генерирующих мощностей на ВИЭ



Примечание: стоимость производства электроэнергии представлена в зависимости от предполагаемого изменения годового количества часов работы, пример для ОЭСР, Европа (в центрах долл. США за кВт·ч), стоимость биомассы приведена без учета стоимости тепла.

Дополнительные расходы возникнут в связи с интеграцией возобновляемой энергетики в энергетическую сеть. Тем не менее текущая версия сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси не содержит количественной оценки затрат на дополнительную необходимую инфраструктуру энергетической сети и аккумуляции энергии. Предыдущие исследования указали на ограниченное воздействие этих затрат на общие затраты системы в зависимости от интеграции с соседними энергетическими системами и доли нестабильных возобновляемых источников энергии. Если говорить об интегрированной европейской энергетической системе, то исследование, проведенное Scholz et al. (2016), продемонстрировало, что затраты на интеграцию в систему носят стабильный характер и составляют от 1,5 до 2 евроцентов за 1 кВт·ч¹⁰⁷ при доле возобновляемых источников 60-80% от общего объема производства электроэнергии.

5.2.5. ВИЭ в секторе теплоэнергетики

Использование ВИЭ в секторе теплоэнергетики имеет самую давнюю историю среди всех технологий возобновляемой энергии. Несмотря на то что специальные расчеты для сектора теплоэнергетики Беларуси не проводились, в следующих разделах приведен обзор соответствующих технологий и затрат на основе международного опыта. В предыдущем докладе за 2012 год, посвященном Энергетической [р]еволюции (Teske, S., J. Muth, S. Sawyer, T. Pregger, S. Simon, et al., 2012)¹⁰⁸, EREC и DLR провели совместное исследование стоимости технологий ВИЭ в секторе теплоэнергетики для Европы. В докладе были проанализированы затраты на внедрение технологий возобновляемой тепловой энергетики – от коллекторных систем прямого преобразования солнечной энергии до геотермальных установок и установок, использующих теплоту окружающей среды, а также технологий получения тепловой

¹⁰⁷ Scholz, Y., H. C. Gils and R. Pietzcker (2016). Application of a high-detail energy system model to derive power sector characteristics at high wind and solar shares. *Energy Economics*.

¹⁰⁸ Energy [R]evolution – a sustainable world energy outlook. Alexandra Dawe, Rebecca Short and C. Aubrey. Amsterdam, Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC), Global Wind Energy Council (GWEC), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

энергии из биомассы. Некоторые технологии уже достигли существенного развития и конкурируют на рынке, особенно простые отопительные системы, используемые в секторе бытового потребления. Однако более сложные технологии, которые могут обеспечить большие доли теплотребления при помощи возобновляемых источников, все еще находятся на стадии разработки и остаются достаточно дорогими. Рыночные барьеры замедляют темпы дальнейшего внедрения систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии, а также снижения их стоимости. Тем не менее можно ожидать значительных темпов освоения этих технологий при условии, что технологии теплоснабжения на основе возобновляемых источников будут внедряться более широко, как это предусмотрено сценарием Энергетической [р]еволуции для Беларуси.

Солнечные тепловые технологии

Солнечные коллекторы зависят от прямого солнечного излучения, поэтому их эффективность в большой степени зависит от их местоположения. В достаточно солнечных регионах (например, в Средиземноморье) простые термосифонные системы могут полностью обеспечить спрос населения на горячую воду при затратах на установку около 400 евро/м². В регионах с меньшей инсоляцией, как в Беларуси, где требуется дополнительное отопление помещений, стоимость установки для насосных систем в два раза выше. В таких районах затраты на солнечное отопление можно существенно снизить за счет экономии на масштабах. Известно, что стоимость крупномасштабной солнечной коллекторной системы составляет 250–600 евро/м², в зависимости от доли солнечной энергии во всей системе теплоснабжения и потребностей в аккумуляции.

Тепловые насосы

Тепловые насосы, как правило, используются для обеспечения горячей водой или отопления помещений с системами теплоснабжения с относительно низкой температурой подачи, или могут использоваться дополнительно с другими технологиями теплоснабжения. Они становятся все более популярными в качестве решения для напольного отопления. Экономия за счет масштабов тут менее эффективна, чем в случае с глубокими геотермальными системами, поэтому основное внимание уделяется мелким бытовым установкам с инвестиционными затратами в пределах 500–1600 евро/кВт для систем с использованием подземных вод и более высокими затратами от 1200 до 3000 евро/кВт для технологий, использующих тепло земли или воздуха.

Использование биомассы

Существует широкий выбор современных технологий для получения тепла из биомассы: от небольших однокамерных печей до котельных или ТЭЦ, генерирующие мощности которых исчисляются в МВт. Инвестиционные затраты существенно разнятся. Для простых дровяных печей они могут составлять от 100 евро за 1 кВт, в то время как технологически более сложные, автоматизированные системы отопления, полностью

покрывающие весь спрос на тепло, обойдутся значительно дороже. Инвестиционные затраты на дровяные или пеллетные котлы составляют от 400 до 1200 евро за 1 кВт, при этом крупные установки стоят дешевле, чем небольшие системы.

Получение тепла при помощи когенерации (ТЭЦ) является еще одним вариантом, который позволяет использовать множество существующих технологий. Эта энергетическая технология имеет очень разнообразное применение: она используется для совместного сжигания разных видов топлива на крупных угольных электростанциях; газификации биомассы на ТЭЦ или биогаза, полученного из влажных остатков. Однако стоимость тепла часто зависит от производства электроэнергии.

5.2.6. Потенциал возобновляемой энергетики Беларуси

Потенциал производства возобновляемой энергии имеет ключевое значение для моделирования энергетической системы. Потенциал производства возобновляемой энергии Беларуси определяется на основе научных публикаций, прогнозов экспертов, а также конкретной оценки потенциала возобновляемой энергии.

Согласно научным публикациям, потенциал энергии ветра охватывает широкий диапазон от 3 до 96 ГВт. Потенциал солнечной энергии, согласно расчетам, также охватывает широкий диапазон от 280 до 570 ГВт¹⁰⁹. Поскольку не все исходные параметры соответствующих исследований являются прозрачными, для сценария Энергетической [р]еволуции использована оценка потенциала, полученная при помощи модели REMix Endat¹¹⁰, разработанной DLR. Модель используется для расчета потенциала, например солнечной энергии и энергии наземных ветровых электростанций, на основе геоданных о климате и погоде за каждый час года. Кроме того, модель позволяет получить почасовые профили производства ветровой и солнечной энергии, которые рассчитывались для Беларуси в национальном масштабе (см. кривые потенциала полной почасовой нагрузки на рис. 5.3). Согласно модельной оценке, потенциал солнечных электростанций является большим и составляет 164 ГВт при незначительной вариации солнечного излучения (980–150 часов полной нагрузки – ЧПН). Количество ЧПН для ветровых электростанций колеблется от 2200 до 2600, что обеспечивает потенциал в размере 26 ГВт.

¹⁰⁹ IEA/OECD (2016). The Clean Energy Technology Assessment Methodology Pilot Study Belarus, International Energy Agency. Meißner, F., F. Ueckerdt and J. Schenk (2010). Erneuerbare Energien in Belarus: Herausforderung für Versorgungssicherheit, FDI und Klimaschutz, PP/04/2010], GET German Economic Team, Berlin/Minsk.

UNDP (2014). Renewable Energy Snapshot Belarus, United Nations Development Program.

¹¹⁰ Stetter, D. (2014). Enhancement of the REMix energy system model: global renewable energy potentials, optimized power plant siting and scenario validation Hochschulschrift, Univ.

Рис. 5.3. Кривые потенциала полной почасовой нагрузки для ветровых и солнечных электростанций в Беларуси



Возможности развития гидроэнергетики весьма ограничены по причине незначительного прироста потенциала за счет малых и средних электростанций. В этом секторе можно увеличить генерацию на дополнительных 250–300 МВт электроэнергии¹¹¹. Геотермальный потенциал Беларуси также является достаточно ограниченным, главным образом установками, которые используют источники с низкой энтальпией¹¹². Соответственно, геотермальное тепло применяется, как правило, в геотермальных тепловых насосах и установках централизованного отопления, которые уже применяются в нескольких регионах Беларуси.

Беларусь располагает существенным потенциалом биомассы. Однако существующие публикации содержат до-

статочно противоречивые данные относительно источников и применения биомассы¹¹³. Это приводит к весьма различным оценкам потенциала, которые колеблются от 70 ПДж для древесной биомассы до 300 ПДж для общего потенциала. Например, потенциал древесной биомассы колеблется от 67 ПДж до 190 ПДж, а потенциал биогаза от 7 ПДж до 24 ПДж. Однако технически доступный потенциал древесной биомассы ограничен незагрязненной радиоактивными элементами биомассой, расположенной за пределами Чернобыльской зоны отчуждения¹¹⁴, на которую приходится 17% лесных площадей, согласно данным, полученным от национальных экспертов¹¹⁵.

Биомасса является очень важным компонентом сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси как источник резервного энергообеспечения, а также в качестве топлива для транспортного сектора. Однако пока неясно, как изменится доступность биомассы в связи с будущим спросом на нее со стороны пищевой и кормовой промышленности, а также ее использованием в качестве сырья в промышленности и строительстве.

Хотя в сценарии Энергетической [р]еволюции для Беларуси мы ограничили первичное энергообеспечение за счет биомассы величиной 230 ПДж, мы понимаем, что это производство не может быть полностью обеспечено за счет внутренних ресурсов. Потенциал биомассы, соответствующий критериям устойчивости, доступен не только в соседних странах, таких как Украина и Россия, но и в ЕС и может обеспечить биотопливо, древесные пеллеты или другие биоэнергоносители в будущем. В данном случае предложение будет главным образом зависеть от рынков биомассы, которые мы в нашем исследовании не рассматривали.

Траектории перехода Беларуси к энергообеспечению на основе преимущественно возобновляемых источников энергии были разработаны и смоделированы исходя из этих допущений, приведенных в этой главе, и с учетом потенциала возобновляемой энергии.

¹¹¹ UNDP (2014). Renewable Energy Snapshot Belarus, United Nations Development Program.

Meißner, F., F. Ueckerdt and J. Schenk (2010). Erneuerbare Energien in Belarus: Herausforderung für Versorgungssicherheit, FDI und Klimaschutz, PP/04/2010, GET German Economic Team, Berlin/Minsk.

¹¹² В.И. Зуй и О. Мартынова (2015). Геотермальные ресурсы, последние данные по Беларуси. Процедуры, Всемирный геотермальный конгресс.

¹¹³ UNDP (2014). Renewable Energy Snapshot Belarus, United Nations Development Program.

Коротинский В., В. Танас и К. Гаркуша (2013). «Перспективы развития биоэнергетики в Беларуси» 13(1). INFORSE (2010). A vision for Belarus based on INFORSE's Vision2050 International Network for Sustainable Energy.

¹¹⁴ Ю. Герсимов и Т. Карьялайнен (2010). «Атлас лесного хозяйства Беларуси». Metlan työraportteja 170.

¹¹⁵ И. Филютич (2016). Доклад «Сбор данных и анализ Базового сценария для Энергетической [р]еволюции», Беларусь. Не опубликован. Институт энергетики Национальной академии наук Республики Беларусь.

6

Результаты моделирования сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси

- Конечное потребление энергии по секторам
- Генерация электроэнергии
- Будущая себестоимость генерации электроэнергии
- Будущие инвестиции в энергетический сектор
- Энергообеспечение сектора теплоэнергетики
- Будущие инвестиции в теплоэнергетический сектор
- Транспорт
- Потребление первичной энергии
- Изменение объема выбросов CO₂



Фото: ©Сергей Кравченко

6.1. Конечное потребление энергии по секторам

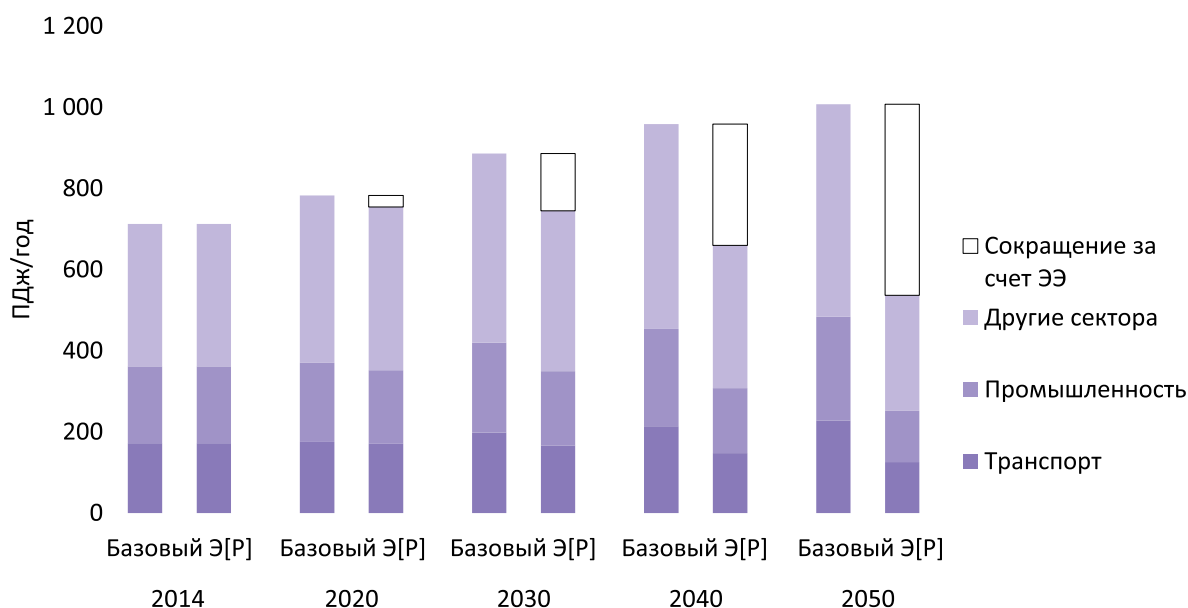
Траектория развития конечного потребления энергии в Беларуси определяется на основе демографических прогнозов, роста ВВП и удельного энергопотребления. Эти прогнозы продемонстрированы на рис. 6.1 для Базового сценария и сценария Энергетической [р]еволюции. Согласно Базовому сценарию общее конечное потребление энергии (ОКП), составляющее в настоящее время 710 ПДж в год, увеличится до 1010 ПДж в год в 2050 году. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции конечное потребление энергии сократится на 24% от текущего уровня до 540 ПДж в год к 2050 году.

Сценарий Энергетической [р]еволюции предполагает, что общее потребление электроэнергии увеличится, несмотря на повышение энергоэффективности во всех отраслях (рис. 6.2), в связи с ростом экономики, повышением уровня жизни и электрификацией транспортного сектора и теплоэнергетики. При сценарии Энергетической [р]еволюции общее потребление электроэнергии увеличится примерно с 30 ТВт·ч в год до 61 ТВт·ч в год к 2050 году. По сравнению с Базовым сценарием меры по повышению энергоэффективности промышленности, коммунального сектора и сферы обслуживания позволят избежать генерации около 20 ТВт·ч в год.

Это сокращение достигается с внедрением во всех секторах, потребляющих электроэнергию, высокоэффективных электронных устройств, использующих самые лучшие технологии из доступных. Электричество станет основным видом «первичной» возобновляемой энергии не только для непосредственного использования в различных целях, но и для производства синтетических видов топлива, которые заменят ископаемое топливо. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции в 2050 году электромобили и электрифицированный железнодорожный транспорт будут потреблять около 20 ТВт·ч (см. рис. 6.4).

Энергоэффективность в теплоэнергетическом секторе повысится еще больше, чем в электроэнергетическом. Сценарий Энергетической [р]еволюции позволяет сократить потребление около 300 ПДж в год за счет повышения уровня энергоэффективности к 2050 году по сравнению с Базовым сценарием (см. рис. 6.3). Энергетическая реновация существующего фонда жилых зданий, внедрение энергосберегающих стандартов и «пассивной климатизации» для новых домов, а также высокоэффективных систем кондиционирования воздуха обеспечат в будущем привычный уровень комфорта и энергетических услуг, но уже при гораздо меньшем потреблении энергии.

Рис. 6.1. Прогноз общего конечного потребления энергии по секторам



Примечание: без учета неэнергетического использования и производства тепла автономными когенерационными установками.

Рис. 6.2. Изменение потребления электроэнергии по секторам согласно сценарию Э[Р]

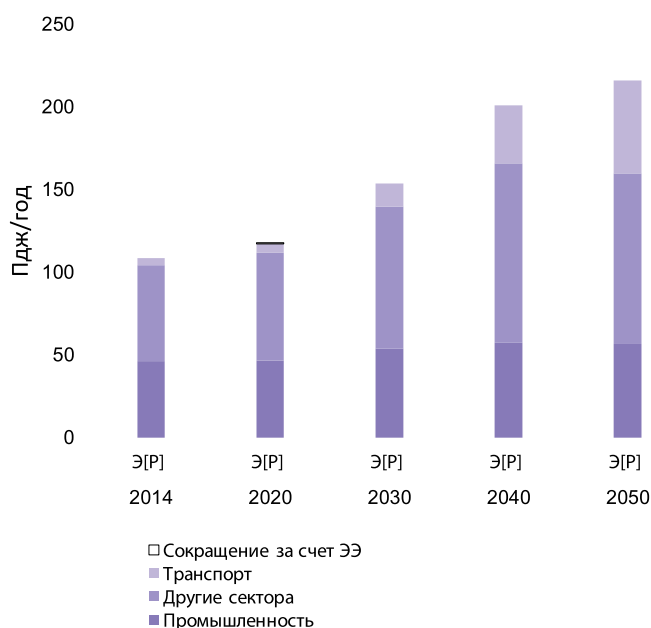


Рис. 6.3. Изменение потребления тепловой энергии по секторам согласно сценарию Э[Р]

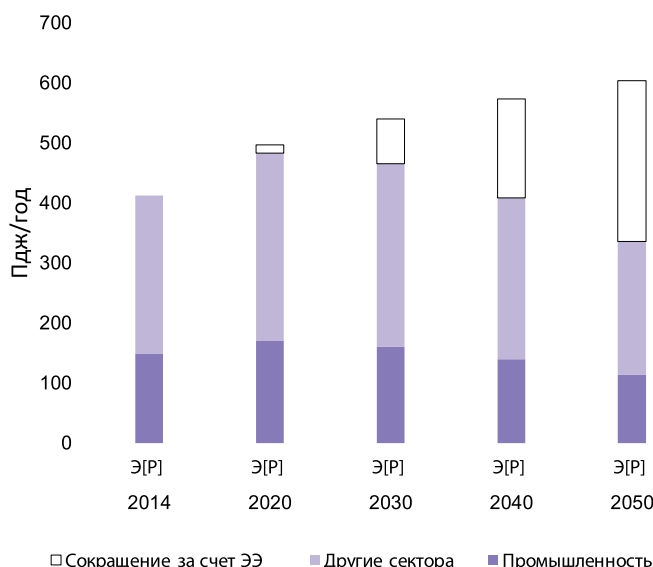
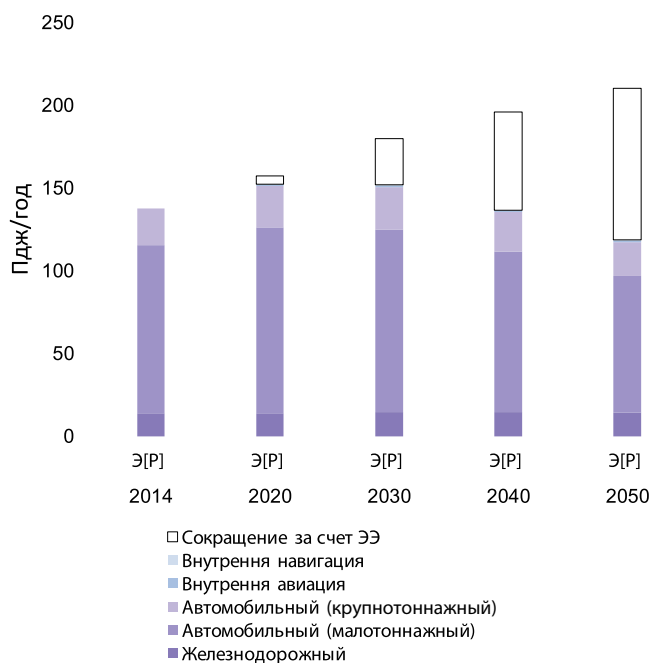


Рис. 6.4. Изменение конечного потребления энергии транспортным сектором по видам транспорта согласно сценарию Э[Р]



6.2. Генерация электроэнергии

Развитие сектора электроснабжения характеризуется динамичным развитием рынка ветровой и солнечной энергии, а также существенным увеличением доли электроэнергии, производимой из возобновляемых источников. Эта тенденция с лихвой компенсирует отказ от атомной энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции. Кроме того, количество электростанций, работающих на ископаемых видах топлива, также продолжит сокращаться. К 2050 году 92% электроэнергии, производимой в Беларуси, будет приходиться на возобновляемые источники энергии, согласно сценарию Энергетической [р]еволюции (рис. 6.5).

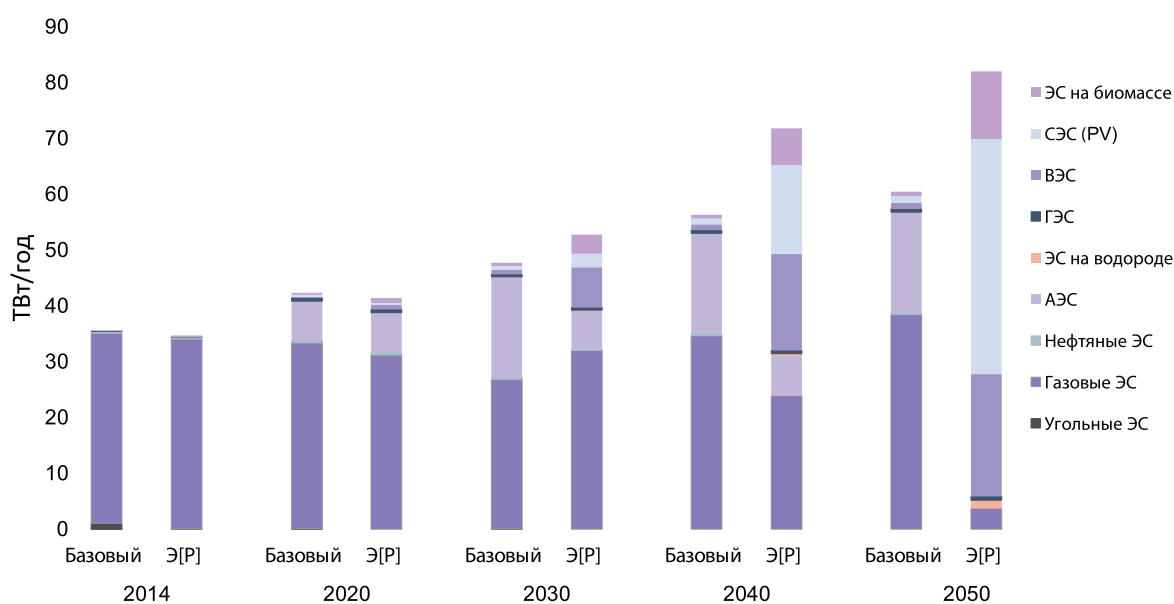
При помощи ветровой и солнечной энергии будет производиться 77% от общего объема выработанной электроэнергии до 2050 года. Уже к 2030 году доля электроэнергии, производимой из возобновляемых источников, будет составлять 35%. Установленные мощности возобновляемых источников энергии составят около 9 ГВт к 2030 году и 50 ГВт к 2050 году.

В таблице 6.1 представлено сравнение развития возобновляемых технологий в Беларуси с течением времени. К 2020 году ветровые и солнечные электростанции станут основными факторами роста рынка. Начиная с 2030 года также увеличивается количество генерирующих установок, работающих на биомассе. Сценарий Энергетической [р]еволюции приведет к увеличению доли переменных источников производства электроэнергии (солнечная и ветровая энергия) до 29% уже к 2030 году и 77% от общего объема производства к 2050 году. Таким образом, необходимо развивать «умные» сети электроснабжения (smart grid), управление спросом (demand side management), энергоаккумулирующие мощности и другие решения для того, чтобы увеличить гибкость энергетической системы для интеграции электросетей, обеспечения сбалансированности нагрузки и надежного энергообеспечения. Кроме того, оставшиеся газовые генерирующие мощности и новые электростанции на биомассе (генерирующие мощности которых в совокупности составляют 7 ГВт) будут использоваться в качестве гарантированных мощностей.

Таблица 6.1. Прогноз развития генерирующих мощностей возобновляемой электроэнергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (МВт)

		2014	2020	2030	2040	2050
ГЭС	БС	25	164	164	164	164
	Э[Р]	25	164	164	173	179
Электростанции на биомассе	БС	39	105	184	242	273
	Э[Р]	39	300	919	2111	3407
Ветровые электростанции	БС	4	122	311	428	504
	Э[Р]	5	326	4997	8037	13 905
Геотермальные электростанции	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	0	0	0	0
Солнечные электростанции	БС	1	293	733	1009	1139
	Э[Р]	1	242	3043	14 452	32 540
Всего	БС	70	684	1392	1843	2079
	Э[Р]	70	1033	9122	24 773	50 031

Рис. 6.5. Развитие структуры генерации электроэнергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р]



6.3. Будущая себестоимость генерации электроэнергии

На рис. 6.6 продемонстрировано, что внедрение технологий возобновляемой энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции изначально приведет к незначительному увеличению будущей себестоимости производства электроэнергии по сравнению с Базовым сценарием. Эта разница в полной себестоимости производства электроэнергии составит около 0,1 цента США за 1 кВт·ч без учета стоимости интеграции в электросеть, в частности, аккумулирующих мощностей и прочих мер для балансирования нагрузки. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, производство электроэнергии на основе ВИЭ станет экономически более выгодным сразу после 2020 года в результате повышения цен на традиционные виды топлива и снижения стоимости переменных возобновляемых источников энергии.

К 2050 году стоимость производства электроэнергии будет на 1,9 цента США за 1 кВт·ч ниже для сценария Энергетической [р]еволюции, чем для Базового сценария.

Согласно Базовому сценарию увеличение потребления и рост цен на ископаемые виды топлива приведет к увеличению общих затрат на энергоснабжение от текущего уровня – 6 млрд долл. США в год – до более чем 9 млрд долл. США в 2050 году.

Благодаря повышению энергоэффективности и переходу к энергообеспечению за счет возобновляемых источников энергии общие затраты на электроснабжение по сценарию Энергетической [р]еволюции в долгосрочной перспективе окажутся лишь на 4% выше по сравнению с Базовым сценарием, притом что производство электроэнергии увеличится на 39%.

Рис. 6.6. Изменение общих затрат на электроснабжение и удельной стоимости производства электрической энергии



6.4. Будущие инвестиции в энергетический сектор

Для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции необходимо около 90 млрд долл. США инвестиций (включая инвестиции на реконструкцию и модернизацию электростанций после завершения экономического обоснованного срока их эксплуатации), что составляет приблизительно 2 млрд долл. США в год (см. рис. 6.7 и таблицу 6.2).

Это на 60 млрд долл. США больше, чем объем инвестиций, предусмотренный Базовым сценарием (30 млрд долл. США). Согласно Базовому сценарию к 2050 году совокупный объем инвестиций в традиционные электростанции составит почти 58%, в то время как на возобновляемую энергию и комбинированное производство тепловой и электрической энергии будет приходиться около 42% от общего объема инвестирования.

Однако по сценарию Энергетической [р]еволюции Беларусь должна перенаправить 95% от совокупного объема

инвестиций на возобновляемую энергию и комбинированное производство тепловой и электрической энергии соответственно. Дополнительные расходы на передачу и аккумулирование электроэнергии не учитываются, но подключение к соседним электросетям может существенно уменьшить эти расходы. Согласно расчетам, проведенным Scholz, Gils et al. (2016), дополнительные затраты в сопоставимых энергосистемах составляют 2-3 долл. США за 1 МВт•ч¹¹⁶.

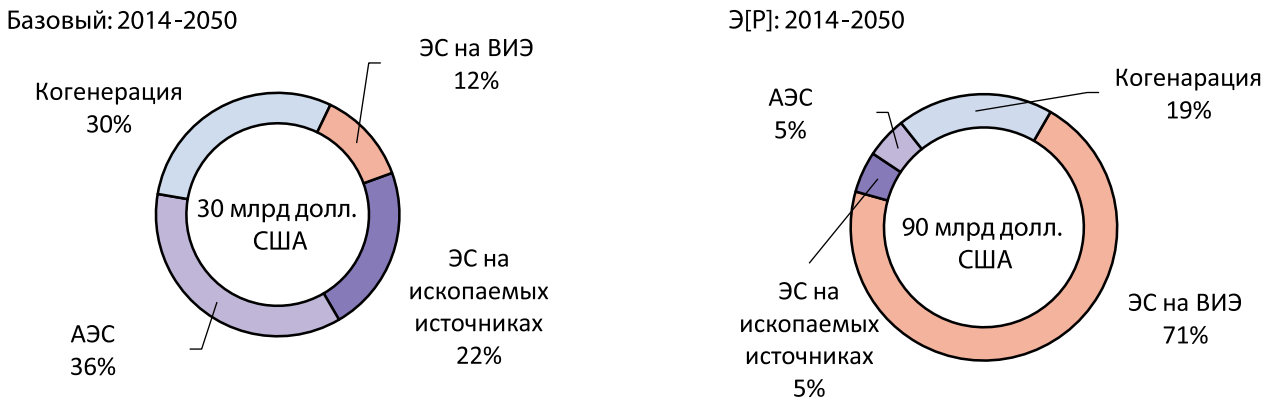
Поскольку в генерации на основе ВИЭ отсутствует такая составляющая, как стоимость топлива, по сценарию Энергетической [р]еволюции экономия за счет стоимости топлива к 2050 году достигнет 63 млрд долл. США, или 1,6 млрд долл. США в год. Таким образом, совокупная экономия за счет стоимости топлива покрывает дополнительные инвестиции в секторе ВИЭ. Соответственно, в период после 2050 года возобновляемые источники энергии будут производить электрическую энергию без каких-либо дополнительных расходов на топливо, в то время как стоимость угля и газа будет оставаться бременем для экономики государств.

Таблица 6.2. Общие инвестиционные расходы на производство электроэнергии и экономия за счет стоимости топлива согласно сценарию Э[Р] по сравнению с Базовым сценарием

	2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2014-2050	в среднем за год в период с 2014 по 2050 гг.
Общие инвестиционные расходы (дополнительные для реализации Э[Р] по сравнению с БС), млрд долл. США	-0,8	-6,9	-18,8	-34,4	-61,0	-1,6
Совокупная экономия на стоимости топлива (совокупная экономия согласно сценарию Э[Р] по сравнению с БС), млрд долл. США,	-8,8	3,5	22,5	45,8	63,0	1,6
в т.ч.:						
мазут	-0,2	0,4	0,8	0,9	2,0	0,1
газ	-8,6	1,7	19,6	41,9	54,6	1,4
атомная энергия	0,0	1,4	2,1	3,0	6,4	0,2

¹¹⁶ Scholz, Y., H. C. Gils and R. Pietzcker (2016). Application of a high-detail energy system model to derive power sector characteristics at high wind and solar shares, Energy Economics (Применение детальной модели энергосистемы для получения характеристик энергетического сектора при высокой доле ветровых и солнечных электростанций. Экономика энергетики).

Рис. 6.7. Структура инвестиций



6.5. Энергообеспечение сектора теплоэнергетики

В настоящее время за счет возобновляемых источников энергии обеспечивается около 10% (преимущественно за счет использования биомассы) потребности Беларуси в тепловой энергии. Для обеспечения динамичного развития, в частности, технологий возобновляемой энергии, используемых в жилищном секторе, а также производства тепловой энергии при помощи возобновляемых источников, необходимы специальные инструменты поддержки. В случае Беларуси речь идет в частности о мерах поддержки интегрирования технологий солнечной и геотермальной тепловой энергетики в системы централизованного теплоснабжения. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции возобновляемые источники смогут обеспечить 33% от общего теплоснабжения Беларуси уже в 2030 году и будут обеспечивать 80% от общего объема теплоснабжения в 2050 году (см. рис. 6.8).

За счет мер по повышению энергоэффективности можно снизить растущее сегодня потребление тепловой

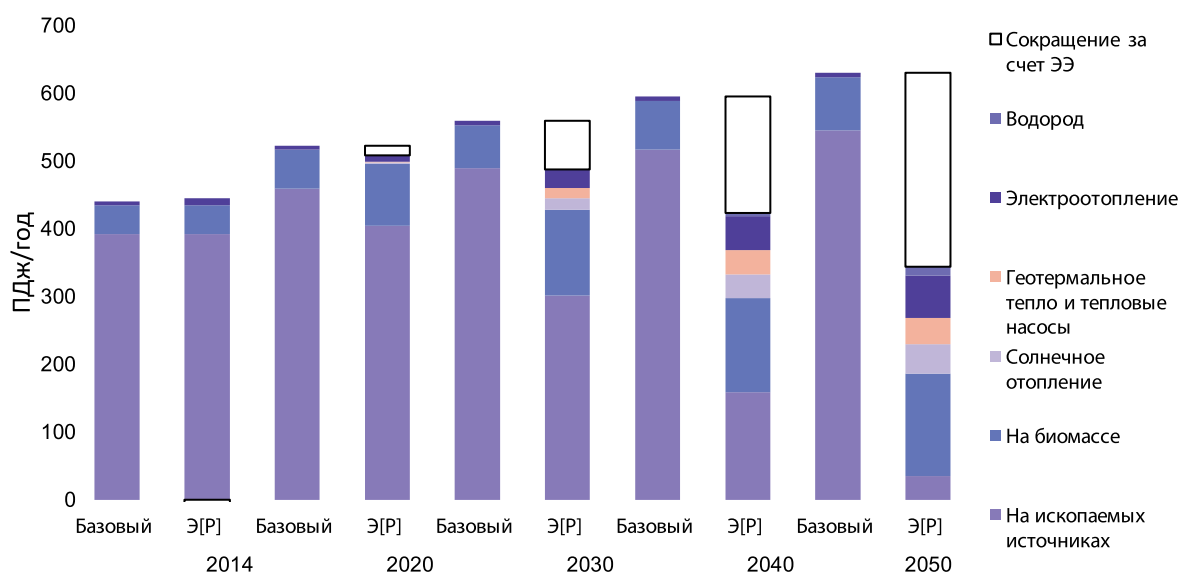
энергии на 45% к 2050 году (по сравнению с Базовым сценарием), при этом повышая уровень жизни и увеличивая экономический рост. Солнечные коллекторы, геотермальная энергия (особенно тепловые насосы), а также электрическая энергия и водород, получаемые из возобновляемых источников, в возрастающей степени будут вытеснять традиционные системы, работающие на ископаемых видах топлива, в промышленном секторе. Переход от использования природного газа к использованию биомассы и газообразного водорода приведет к дальнейшему сокращению выбросов CO₂.

В таблице 6.3 представлено развитие различных технологий возобновляемой энергии для теплоэнергетического сектора Беларуси с течением времени. До 2030 года биомасса будет оставаться основным фактором роста доли рынка. После 2030 года дальнейшее развитие солнечных коллекторов и увеличение доли технологий геотермального (неглубокого) теплоснабжения и использование тепла окружающей среды, а также теплоснабжения за счет возобновляемого водорода дополнительно снизят зависимость от ископаемого топлива.

Таблица 6.3. Прогноз теплоснабжения за счет возобновляемых источников энергии согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (ПДж в год)

		2014	2020	2030	2040	2050
Биомасса	БС	42	58	64	73	80
	Э[Р]	42	92	121	137	121
Солнечное теплоснабжение	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	2	17	35	45
Геотермальное тепло и тепловые насосы	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	1	13	32	37
Водород	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	0	0	2	14
Всего	БС	42	58	64	73	80
	Э[Р]	42	95	151	207	218

Рис. 6.8. Прогноз теплоснабжения по видам энергоносителей



6.6. Будущие инвестиции в теплоэнергетический сектор

Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, в теплоэнергетическом секторе также придется внести существенные коррективы в действующие инвестиционные стратегии, касающиеся теплоэнергетических технологий. В частности, необходимо существенно увеличить генерирующие мощности на основе солнечных технологий, геотермальных технологий и тепловых насосов (см. таблицу 6.4), если Беларусь хочет использовать их потенциал в теплоэнергетическом секторе. Использование традиционных технологий на биомассе в теплоэнергетическом секторе будет переориентировано на применение более эффективных и устойчивых теплоэнергетических технологий на основе биомассы согласно сценарию Энергетической [р]еволюции. Со временем биомасса будет все чаще использоваться для обеспечения электроснабжения и в качестве биотоплива.

Теплоэнергетические технологии на основе возобновляемых источников энергии являются очень разными – от низкотехнологичных печей для сжигания биомассы и непокрытых солнечных коллекторов до высокотехнологичных и сложных геотермальных и солнечных систем. Таким образом, можно лишь приблизительно определить, что для реализации сценария Энергетической [р]еволюции до 2050 года в этой сфере в совокупности понадобится около 33 млрд долл. США инвестиций в возобновляемые теплоэнергетические технологии (включая инвестиции на замену установок после завершения экономически обоснованного срока их эксплуатации), или 1 млрд долл. США в год (см. таблицу 6.5 и рис. 6.9).

Таблица 6.4. Установленные мощности для генерации тепла из возобновляемых источников энергии согласно сценариям (ГВт)

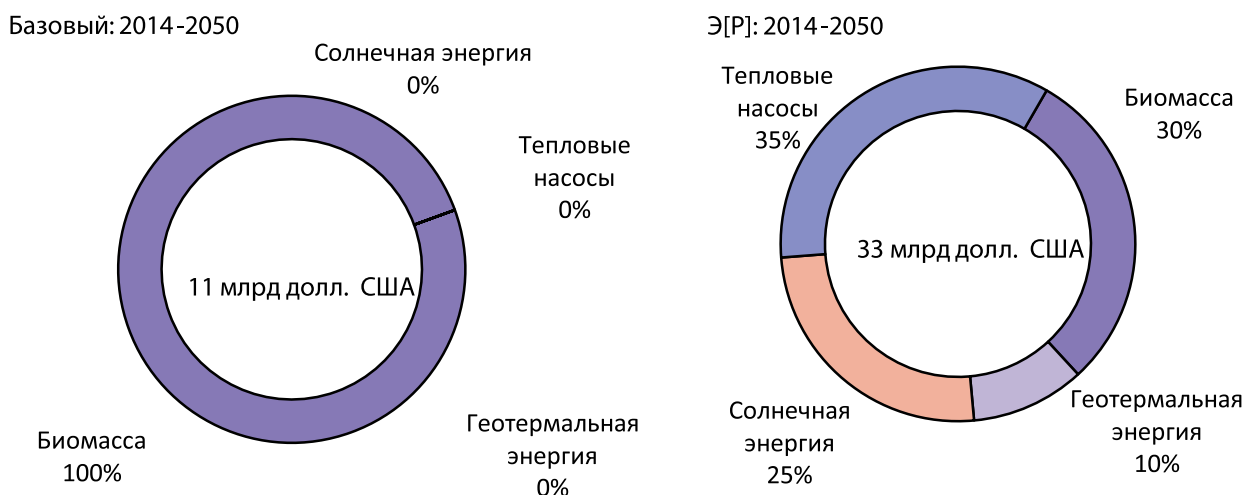
		2014	2020	2030	2040	2050
Биомасса	БС	8	10	11	12	13
	Э[Р]	8	12	15	13	9
Геотермальное теплоснабжение	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	0	1	2	2
Солнечное теплоснабжение	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	0	4	8	10
Тепловые насосы	БС	0	0	0	0	0
	Э[Р]	0	0	2	4	5
Всего*	БС	8	10	11	12	13
	Э[Р]	8	13	21	27	26

Примечание: *за исключением прямого электроотопления.

Таблица 6.5 Общие инвестиционные расходы на производство тепловой энергии согласно сценарию Э[Р] по сравнению с Базовым сценарием

	2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2014-2050	в среднем за год с 2014 по 2050 гг.
Совокупные инвестиционные расходы на ВИЭ (разница Э[Р] минус БС), млрд долл. США	2,5	6,0	7,0	6,0	21,5	0,6

Рис. 6.9. Изменение инвестиций в возобновляемые технологии теплогенерации



6.7. Транспорт

Согласно Базовому сценарию, в связи с ростом ВВП и повышением уровня жизни потребление энергии транспортным сектором увеличится (приблизительно на 33% – до 230 ПДж в год в 2050 году) (см. рис. 6.10). Без существенного изменения государственной политики, в транспортном секторе сохраняются текущие тенденции, и доля потребления нефтяного топлива с базового до 2050 года возрастает на 28% в абсолютных значениях. В частности, распределение использования видов транспорта практически не изменится. Так, доля использования железнодорожного транспорта в объеме перевозок останется в пределах 7-8%. Доля электрификации железнодорожного транспорта возрастет незначительно (с 30,9% до 31,6%), а использование биотоплива не предвидится.

Согласно Базовому сценарию доля перевозок автодорожным транспортом лишь незначительно увеличится: с 81% в 2014 году до 84% к 2050 году (см. табл. 6.6., приложение 6). В секторе легковых автомобилей и малотоннажных транспортных средств внедрение прогрессивных технологий (электромобилей, гибридных автомобилей и автомобилей на частичном использовании биотоплива) достаточно низкое, около 86% транспортных средств этого сегмента останутся бензиновыми или дизельными. Уровень электрификации в секторе крупнотоннажных грузовых автомобилей и тяжелого пассажирского транспорта увеличится с текущих 2,5% (в основном это троллейбусы) до 3,7%.

Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции меры по повышению энергоэффективности и перераспределение перевозок по видам транспорта позволят достичь экономии на уровне 45% (103 ПДж в год) по сравнению с Базовым сценарием. Таким образом, разница в энергопотреблении между Базовым сценарием и сценарием Энергетической [р]еволюции составляет 92 ПДж, что равно 13% энергии, потребляемой Беларусью в базовом 2014 году (см. таблицу 6.6 и приложение 5).

Основная задача Беларуси заключается в том, чтобы предложить гражданам стимулы пользоваться малолитражными автомобилями и покупать новые, более эффективные модели автомобилей. Кроме того, жизненно важно перейти на использование энергоэффективных видов транспорта, таких как железная дорога, городской наземный рельсовый транспорт и автобусы, особенно в расширяющемся столичном регионе. На фоне роста цен на ископаемые виды топлива эти изменения сократят дальнейший рост продаж автомобилей, который ожидается согласно Базовому сценарию.

Электрификация транспорта является ключевым шагом к увеличению его энергоэффективности: общий КПД автомобилей с ДВС равен около 30%, в то время как общий КПД электротранспортного сектора можно оценить в 66-81% (общий КПД электротранспорта определяется произведением общего КПД электромобиля, равного

80-90%¹¹⁷, КПД энергосети, равного для Беларуси около 90%¹¹⁸, и КПД цикла перезарядки аккумуляторных батарей, равного около 90%¹¹⁹ в случае, если автомобиль использует такие батареи, а не контактную сеть).

Высокоэффективные двигатели, в частности гибридные, гибридные с батареями и аккумуляторные электрические силовые агрегаты, обеспечат существенное повышение уровня энергоэффективности в соответствии со сценарием Энергетической [р]еволюции. Согласно этому сценарию к 2030 году электричество будет обеспечивать 8% от общего потребления энергии транспортным сектором, а в 2050 году – 48%. Полная электрификация транспортного сектора потребовала бы удвоения объема электроэнергии, рассчитанного для сценария Э[Р], то есть еще дополнительные около 60 ПДж или 17-20 ТВт·ч электроэнергии.

К 2025 году согласно Базовому сценарию количество электромобилей может составить около 17 000 (0,6% автопарка), а согласно сценарию Энергетической [р]еволюции около 54 000 (1,8% автопарка). Полученные результаты для двух сценариев более амбициозны, чем оценки, представленные в проекте программы развития электромобилей в Беларуси. Так, согласно пессимистичной оценке количество автомобилей к тому же году может составить 9,37 тыс. шт., согласно оптимистичной – 30,82 тыс. шт.¹²⁰

В рамках сценария Энергетической [р]еволюции доля электротранспорта в сегменте легковых и малотоннажных автомобилей увеличится до 45% к 2050 году. Также будет развиваться рынок гибридных авто, транспортных средств на биотопливе и водородных топливных элементах. Лишь 5% легковых автомобилей и 21% грузовых будут использовать исключительно бензин или дизельное топливо. Также незначительно увеличится доля перевозок железнодорожным транспортом (с 7,5% в 2014 году до 11,5% к 2050 году). Причем доля электропоездов возрастет с 9% до 42% (см. приложение 6).

Биотоплива будут дополнительно способствовать сокращению выбросов парниковых газов, если они будут производиться согласно критериям устойчивости, например, в соответствии с регламентами ЕС. Водород, полученный при помощи электроэнергии на основе ВИЭ, – еще одно решение, которое дополнительно способствует увеличению доли возобновляемой энергетики в транспортном секторе после того, как доля возобновляемой электроэнергии достигнет весьма высокого уровня.

В связи с тем что национальный потенциал возобновляемых источников энергии и биомассы ограничен, транспортный сектор может сохранить зависимость от импорта энергоресурсов, но уже в гораздо меньшем процентном соотношении и абсолютных цифрах.

Таблица 6.6. Прогноз энергопотребления в транспортном секторе по видам транспорта согласно Базовому сценарию и сценарию Э[Р] (ПДж в год)

		2014	2020	2030	2040	2050
Железнодорожный транспорт	БС	13	14	15	16	17
	Э[Р]	13	14	15	15	14
Автомобильный транспорт	БС	139	142	164	179	192
	Э[Р]	139	137	136	121	103
Внутренние авиалинии	БС	1	1	1	1	1
	Э[Р]	1	1	1	1	1
Всего	БС	153	157	180	196	211
	Э[Р]	153	152	152	137	119

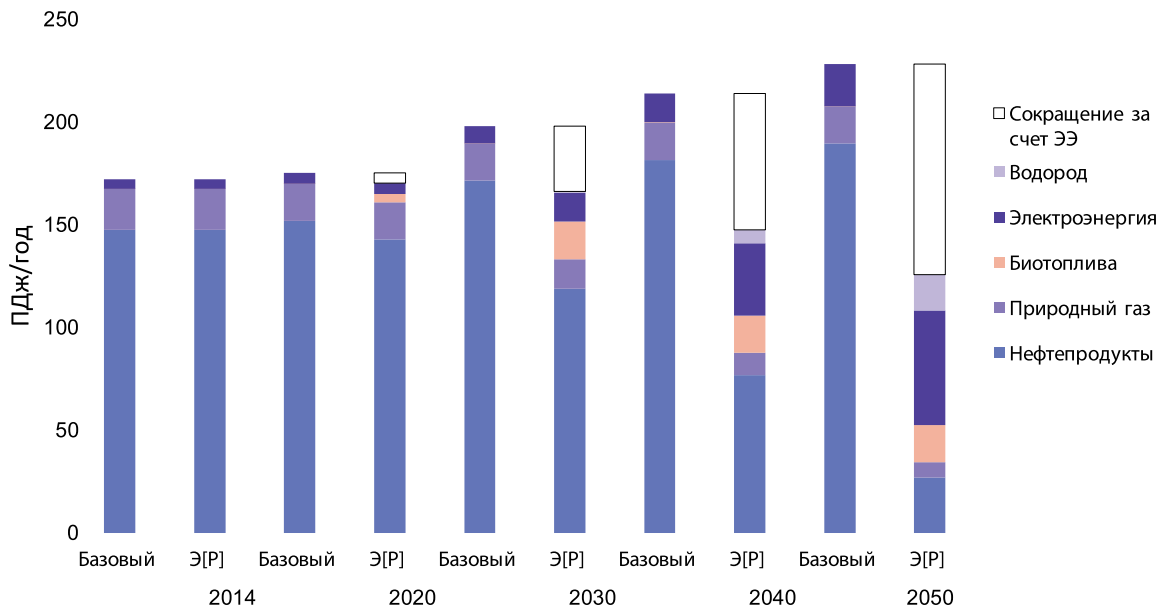
¹¹⁷ Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015.

¹¹⁸ Данные Министерства энергетики Беларуси.

¹¹⁹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor>

¹²⁰ Министерство энергетики Республики Беларусь, проект Программы развития зарядной инфраструктуры и электромобильного транспорта в Республике Беларусь на 2016–2025 годы.

Рис. 6.10. Конечное потребление энергии транспортным сектором



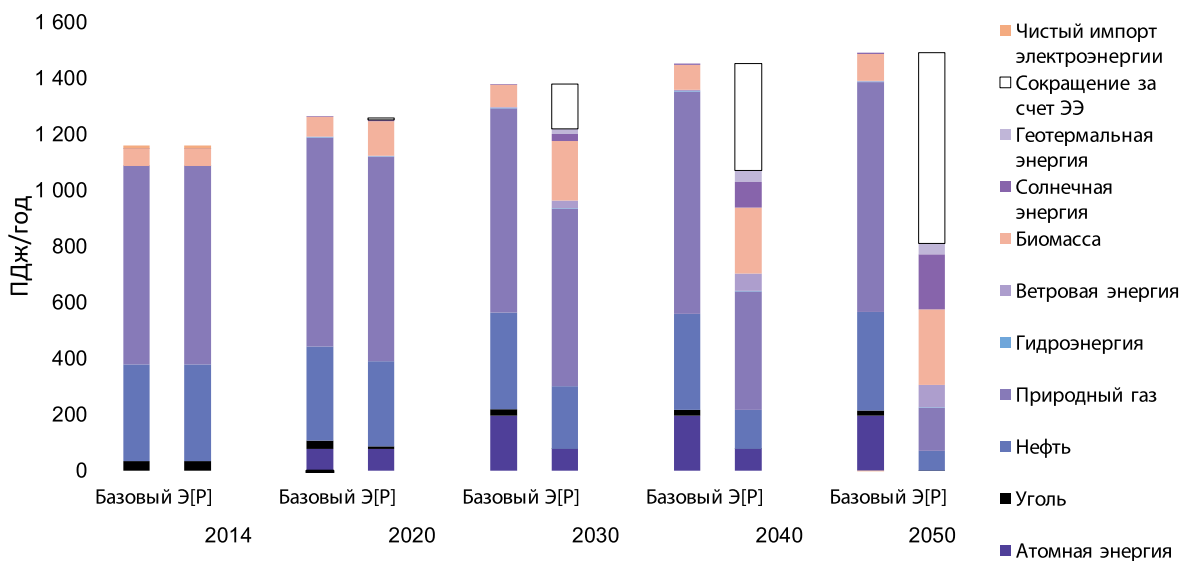
6.8. Потребление первичной энергии

Прогноз потребления первичной энергии (на основе допущений, представленных в разделе 5 по методологии) в соответствии со сценарием Энергетической [р]еволюции представлен на рис. 6.11. Согласно сценарию Э[Р] потребление первичной энергии сократится на 33% от текущего уровня 1010 ПДж в год до около 680 ПДж в год. По сравнению с Базовым сценарием общее потребление первичной энергии уменьшится на 50% в 2050 году согласно сценарию Э[Р] (БС: около 1360 ПДж в 2050 году).

Сценарий Энергетической [р]еволюции имеет своей целью отказ от использования нефти и уменьшение использования природного газа, что должно происходить

так быстро, как только возможно с технической и экономической точки зрения за счет развития возобновляемой энергии и быстрого внедрения в транспортном секторе высокоэффективных концептов автомобилей вместо двигателей внутреннего сгорания, работающих на нефтепродуктах. В результате этих мер общая доля возобновляемой первичной энергии составит 27% в 2030 году и 80% в 2050 году согласно сценарию Э[Р] (без учета потребления в неэнергетических целях). Доля ВИЭ в конечном потреблении энергии увеличивается с 6,8% в 2014 году до 80,5% в 2050 году. В отличие от Базового сценария, сценарий Энергетической [р]еволюции исключает строительство новых атомных электростанций в Беларуси после 2020 года.

Рис. 6.11. Прогноз общего потребления первичной энергии по энергоносителям

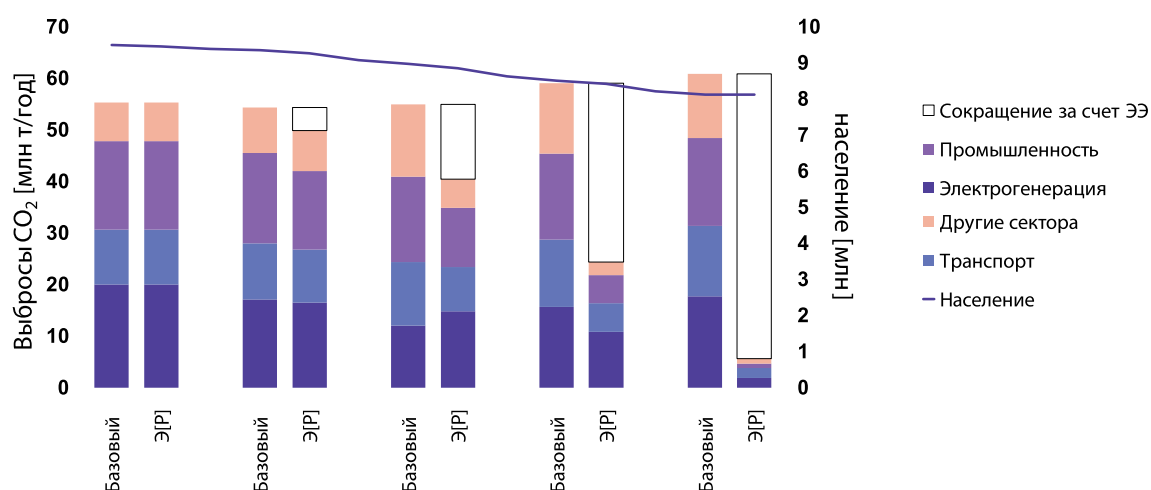


6.9. Изменение объема выбросов CO₂

Согласно Базовому сценарию выбросы CO₂ в Беларуси увеличатся на 13% в период с 2014 по 2050 годы, в то время как согласно сценарию Энергетической [р]еволюции они сократятся с 55 млн т в 2014 году до 8 млн т в 2050-м (см. рис. 6.12). Годовой объем выбросов на душу населения снизится с 5,8 т до 0,9 т. Несмотря на отказ от атомной энергетики и растущее потребление электрической энергии, выбросы CO₂ в электроэнергетическом секторе снизятся. Кроме того, выбросы парниковых газов в транспортном секторе в долгосрочной перспективе уменьшатся за счет повышения энергоэффективности и увеличения использования электромобилей. Согласно Базовому сценарию, сектор производства электрэнергии будет оставаться крупнейшим источником выбросов парниковых газов в 2050 году, при этом его доля в выбросах CO₂ будет составлять 55%. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции к 2050 году выбросы CO₂ в Беларуси будут на 93% ниже аналогичных показателей 1990 года.

Как продемонстрировано на рис. 6.12, сценарий Энергетической [р]еволюции не только соответствует целям Беларуси в области сокращения выбросов CO₂, но также способствует снижению зависимости от импорта за счет увеличения объема энергообеспечения из внутренних источников.

Рис. 6.12. Изменение выбросов CO₂ по секторам



Примечание: «сокращение за счет ЭЭ» – сокращение энергопотребления по сравнению с Базовым сценарием за счет применения энергоэффективных технологий.

7

Энергетические технологии

- Технологии сжигания газа
- Ядерные технологии
- Технологии возобновляемой энергетики и теплоснабжения
- Технологии электросетей – инфраструктура для возобновляемых источников энергии
- Отопление и охлаждение при помощи технологий возобновляемой энергетики

В данной главе¹²¹ представлен спектр технологий, которые используются сегодня и будут использоваться в будущем для обеспечения глобального энергопотребления. Сценарий Энергетической [р]еволюции придает первостепенное значение потенциалу энергоэффективности и возобновляемых источников энергии, в первую очередь в электро-энергетическом и теплоэнергетическом секторах.

¹²¹ Этот раздел был адаптирован на основе соответствующего раздела доклада «Энергетическая [р]еволюция: прогноз устойчивого развития мировой энергетики – 2015» (Energy [R]evolution: a Sustainable World Energy Outlook 2015) с разрешения Гринпис интернэшнл.



7.1. Технологии сжигания газа

Природный газ может применяться для производства электроэнергии при помощи газовых либо паровых турбин. Объем выбросов CO₂, производимый в результате сжигания газа, будет на 45% (IEA ETP 2014)¹²² ниже, чем при сжигании угля, при условии получения эквивалентного количества тепловой энергии.

Электростанции, работающие на газовых турбинах, используют тепловую энергию газов для прямого приведения турбины в действие. Турбины, работающие на природном газе, быстро запускаются и поэтому нередко используются для энергообеспечения в пиковую нагрузку, хотя себестоимость энергии при этом оказывается выше, чем на электростанциях, работающих при базовой нагрузке.

Чрезвычайно высокой эффективности можно достичь за счет применения газовых турбин вместе с паровыми турбинами в режиме комбинированного цикла. В парогазовой установке (ПГУ) газовый турбогенератор вырабатывает электроэнергию, а отработанные газы из турбины идут на получение пара, который используется для производства дополнительной электроэнергии. Коэффициент полезного действия современных ПГУ может составлять до 60% (IEA ETP 2014). Большинство газовых электростанций, построенных после 1990 года, относятся к такому типу. Исторически основной движущей силой развития технологий производства электроэнергии при помощи сжигания газа является поиск решений для повышения КПД газовых электростанций. Однако усилия, направленные на увеличение КПД электростанций, являются далеко не единственной технической задачей. К важным аспектам будущих гибких систем производства электроэнергии также относятся другие критерии, такие как КПД при частичной нагрузке, скорость изменений нагрузки, а также время запуска (IEA ETP 2014). На протяжении осуществления перехода к 100% ВИЭ адаптируемые газовые турбины с быстрым запуском играют важную роль для интегрирования долей ветровой и солнечной энергии в энергосистему.

В условиях низких цен на газ ПГУ – наиболее экономичный способ производства электроэнергии во многих странах. Капитальные затраты для таких станций существенно ниже, чем для угольных или атомных станций, при этом для их строительства требуется меньше времени.

7.2. Ядерные технологии

Преобразование атомной энергии в электрическую предусматривает передачу тепла, полученного в ходе контролируемой реакции ядерного деления, на обычную паровую турбину. Ядерная реакция протекает в пределах активной зоны ядерного реактора, окруженной защитной оболочкой, которая может иметь различную конструкцию и структуру. Тепло отводится из активной зоны реактора при помощи теплоносителя (газа или воды) и реакции, управляемой при помощи замедляющего элемента или «замедлителя».

В течение последних двадцати лет темпы строительства новых атомных электростанций значительно снизились во всем мире. Это было вызвано различными причинами:

опасением новых аварий на АЭС (после событий на АЭС Три-Майл-Айленд, Мондзю, Фукусима и Чернобыльской), а также более критическим изучением экономических и экологических аспектов, связанных с обращением с радиоактивными отходами и сбросами.

Конструкции атомных реакторов: эволюция и вопросы безопасности

К середине 2015 года на планете насчитывался 391 ядерный реактор, эксплуатируемый в 31 стране.

Ядерные реакторы делят на четыре категории. Точных определений категорий конструкций нет (Scheider/Froggatt 2015)¹²³:

Реакторы I поколения: демонстрационные коммерческие реакторы, созданные в 1950-х и 1960-х годах из модифицированных или укрупненных реакторов военного назначения, изначально разработанных для силовых установок подводных лодок или производства плутония.

Реакторы II поколения: реакторы, получившие широкое промышленное применение во всем мире.

Реакторы III поколения: новое поколение реакторов, строящихся в настоящее время.

Реакторы IV поколения и поколения III+: после катастрофы на Чернобыльской АЭС конструкции реакторов получили дальнейшее развитие и претерпели значительные изменения.

К реакторам поколения III+ относятся так называемые реакторы усовершенствованной конструкции, три из которых уже эксплуатируются в Японии, в то время как многие находятся в стадии строительства или планирования. Примерно 20 проектов¹²⁴ реакторов на стадии разработки, большинство из которых являются «эволюционными» – разработанными на основании реакторов второго поколения с некоторыми модификациями, но без внедрения принципиальных изменений. В некоторых из них использованы более инновационные подходы.

Согласно данным Всемирной ядерной ассоциации, реакторы III поколения имеют следующие характеристики:

- стандартизованная конструкция, ускоряющая процесс лицензирования, а также сокращающая капитальные затраты и продолжительность строительства;
- упрощенная и более устойчивая конструкция, которая облегчает эксплуатацию и снижает уязвимость оборудования;
- более длительный срок эксплуатации – обычно 60 лет;
- более низкая вероятность аварий с расплавлением активной зоны;
- минимальное воздействие на окружающую среду;
- повышенный коэффициент выгорания, позволяющий сократить расход топлива и количество отходов;
- выгорающие поглотители, продлевающие срок службы активной зоны реактора.

¹²² (IEA ETP 2014) Energy technology perspective – harnessing electricities potential; IEA May 2014.

¹²³ (Scheider/Froggatt 2015) The World Nuclear Industry – Status Report 2015; Paris, London, July 2015; © A Mycle Schneider Consulting Project.

¹²⁴ (IAEA 2004; WNO 2004)

Насколько эти решения позволяют повысить стандарты безопасности в сравнении с улучшенными экономическими характеристиками, пока неясно.

На основании новейших конструкций реакторов II поколения был разработан Европейский водо-водяной энергетический реактор (EPR) (Schneider/Froggatt 2015). Заявленной целью создания реактора является повышение уровня безопасности, в частности десятикратное сокращение вероятности серьезной аварии, предотвращение последствий серьезных аварий путем их локализации на территории самой станции, а также сокращение затрат. Однако по сравнению с предыдущими типами реакторов EPR имеет ряд недостатков, ведущих к снижению уровня ядерной безопасности, а именно:

- размер здания реактора уменьшен за счет упрощенной планировки системы аварийного охлаждения активной зоны и новых расчетов, согласно которым во время аварии выделяется меньшее количество водорода, чем считалось ранее;
- тепловая производительность энергоблока увеличена на 15% за счет повышения температуры теплоносителя на выходе из активной зоны, усиления мощности основных охлаждающих насосов и модификации паровых генераторов;
- EPR располагает меньшим количеством резервных систем безопасности, чем немецкие реакторы II поколения.

Некоторые модификации в EPR считаются важными улучшениями систем безопасности. К ним относится система улавливания расплавленной активной зоны (core catcher) в случае аварии. Тем не менее, несмотря на изменения, невозможно гарантировать, что EPR имеют значительно более высокий уровень безопасности. Не доказано, в частности, десятикратное снижение вероятности расплавления активной зоны. Более того, существуют серьезные сомнения относительно эффективности системы улавливания и контроля расплавленной активной зоны.

Всемирная ядерная ассоциация (WNA) заявляет: «Новые усовершенствованные реакторы [поколение III+], которые строятся сегодня, имеют более простую конструкцию, снижающую стоимость их строительства. Они более экономно используют топливо и по определению являются более безопасными». В частности, ассоциация приводит некоторые характеристики конструкции, которые имеют наиболее важное значение для настоящего анализа, а именно (Schneider/Froggatt 2015):

- стандартизованная конструкция, ускоряющая процесс лицензирования и сокращающая капитальные затраты и продолжительность строительства;

- упрощенная и более устойчивая конструкция, которая облегчает эксплуатацию и снижает уязвимость оборудования;
- более низкая вероятность аварий с расплавлением активной зоны;
- значительный период отсрочки, который позволяет не предпринимать никаких активных действий после отключения реактора в течение (как правило) 72 часов;
- устойчивость к серьезным повреждениям, в результате которых может случиться выброс радиоактивных веществ, например, после падения самолета.

Цена увеличивается на протяжении всего периода – от объявления о проекте до введения его в эксплуатацию. Например, в 2003 году Министерство промышленности Франции пришло к выводу, что стоимость строительства одного реактора типа EPR составит всего лишь чуть более 1 млрд евро (1,2 млрд долл. США). К моменту подписания контракта на строительство реактора для АЭС Фламанвиль в 2007 году заявленный ценник вырос втрое, а к 2012 году оценочная стоимость достигла 8,5 млрд евро (10,6 млрд долл. США) (Schneider/Froggatt 2015).

Наконец, в настоящее время ведется разработка реакторов IV поколения, промышленное использование которых предполагается возможным через 20-30 лет.

7.3. Технологии возобновляемой энергетики и теплоснабжения

Возобновляемая энергетика охватывает целый ряд природных источников энергии, которые постоянно возобновляются и, соответственно, в отличие от ископаемых видов топлива и урана, являются неисчерпаемыми. Большинство из них связаны с воздействием солнечного излучения и движения Луны на погодные явления на Земле. Возобновляемые источники не имеют вредных выбросов и не загрязняют окружающую среду, в отличие от «традиционного» топлива. Возобновляемые источники энергии получили широкое промышленное применение относительно недавно, за исключением гидроэнергии, которая используется в промышленных масштабах с середины прошлого века. Рис. 7.1 иллюстрирует роль возобновляемых источников энергии наряду с традиционными источниками энергии.

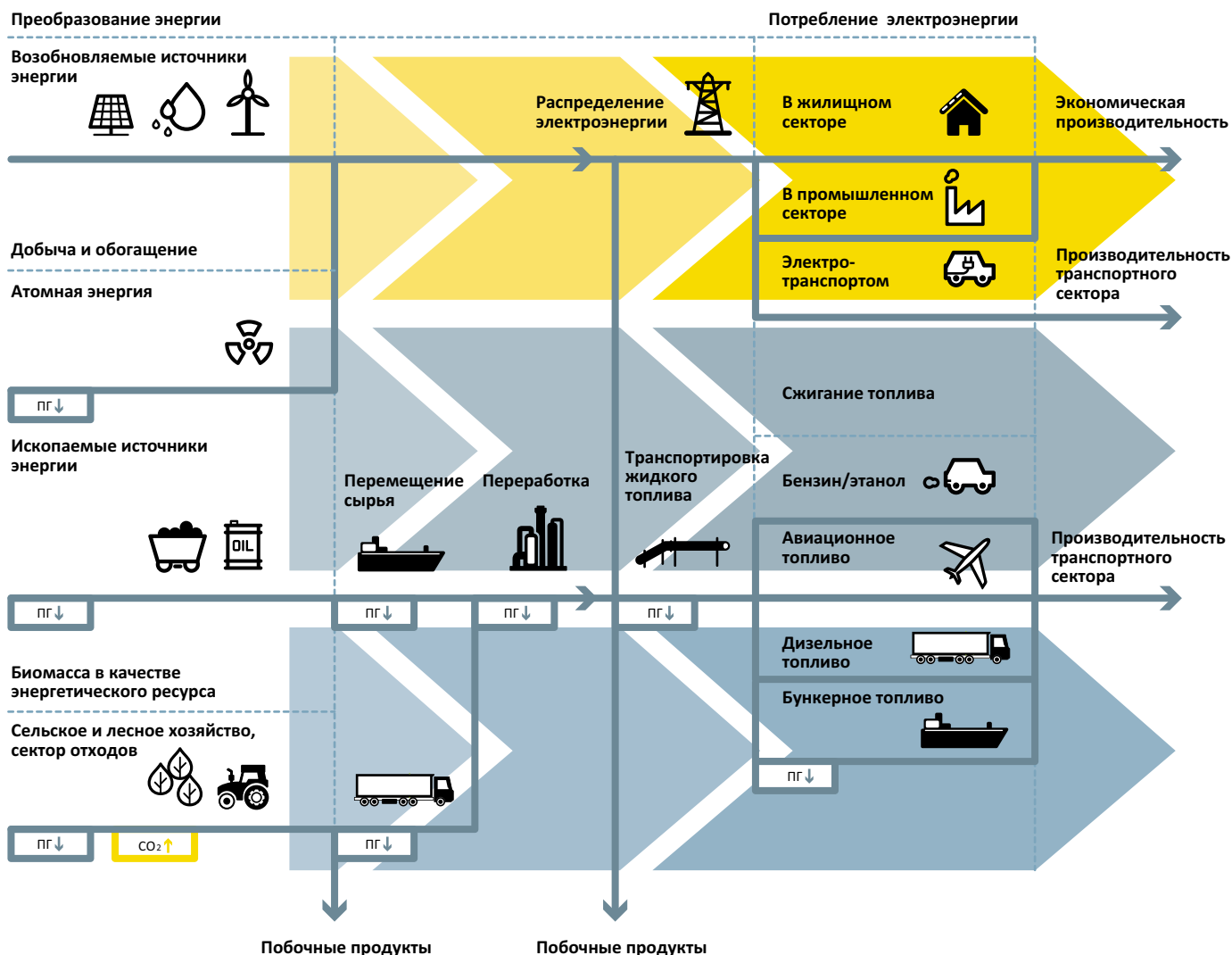
Вставка 7.1. Определение возобновляемой энергии

Возобновляемая энергия – это любая форма энергии из солнечных, геофизических или биологических источников, которая восполняется в результате естественных процессов темпами равными или превышающими темпы ее использования. Возобновляемую энергию получают из непрерывных или повторяющихся потоков энергии, имеющих место в естественной среде, и она включает в себя такие источники, как биомасса, солнечная энергия, гидроэнергия, энергия ветра, приливы, волны и термальная энергия океана, а также геотермальная энергия. Однако существует возможность использовать биомассу более интенсивно, чем это позволяет ее рост, либо же отбирать

тепловую энергию из геотермального поля более быстрыми темпами, чем скорость, с которой оно может быть восстановлено при помощи тепловых потоков. С другой стороны, темпы использования прямой солнечной энергии не влияют на скорость, с которой она достигает Земли. Ископаемые виды топлива (уголь, нефть и природный газ) не включены в данное определение, поскольку их запасы не восполняются за относительно короткий период времени по сравнению с темпами их использования.

Определение возобновляемой энергии IPCC (Источник: IPCC, Special Report Renewable Energy/SRREN Renewables for Power Generation).

Рис. 7.1. Схема производства и использования энергии, иллюстрирующая роль ВИЭ наряду с другими решениями производства энергии



Источник: IPCC-SRREN 2012.

7.3.1. Солнечные электростанции (фотоэлектрические)

В мире существует более чем достаточное количество солнечной радиации, чтобы удовлетворить существенно увеличившийся спрос на солнечные электрические системы. Солнечная радиация приносит на Землю энергии в 7900 раз больше, чем мы потребляем сегодня. В среднем на каждый квадратный метр планеты приходится достаточное количество солнечной радиации, чтобы обеспечить 1700 кВт·ч солнечной энергии ежегодно. В Европе энергия солнечного излучения составляет в среднем около 1000 кВт·ч в год, а на Ближнем Востоке достигает 1800 кВт·ч.

Технология фотоэлектрического преобразования энергии (PV) предусматривает производство электрической энергии из солнечного света. Фотоэлектрические системы состоят из элементов, которые преобразовывают солнечный свет в электрическую энергию. Каждый элемент состоит из слоев полупроводникового материала.

Солнечный свет, падающий на элемент, образует электрическое поле вокруг слоев, обеспечивая протекание тока (см. рис. 7.2 и рис. 7.3). Чем выше световая интенсивность, тем больше будет количество электрической энергии, генерируемой каждым элементом. Фотоэлектрическая система не нуждается в ярком солнечном свете. Она может производить электричество в облачные и дождливые дни из рассеянного солнечного света.

Наиболее важными компонентами фотоэлектрических систем являются солнечные элементы, формирующие основные конструктивные блоки, объединяющие большое количество солнечных элементов, и в некоторых случаях инверторы, которые используются для преобразования получаемой электрической энергии в форму, пригодную для повседневного использования. Когда говорят о том, что солнечная установка имеет генерирующую мощность 3 кВт (пик), это указывает на производительность системы при стандартных условиях тестирования – показатель, на основании которого осуществляется сравнение различных модулей. В Центральной Европе электроэнергии, производимой фотоэлектрическими

панелями, имеющими максимальную мощность 3 кВт (пик) и занимающими площадь около 27 квадратных метров, достаточно для того, чтобы обеспечить энергией одну семью при рациональном использовании получаемой энергии.

Существует несколько различных фотоэлектрических технологий и типов устанавливаемых систем (см. таблицу 7.1).

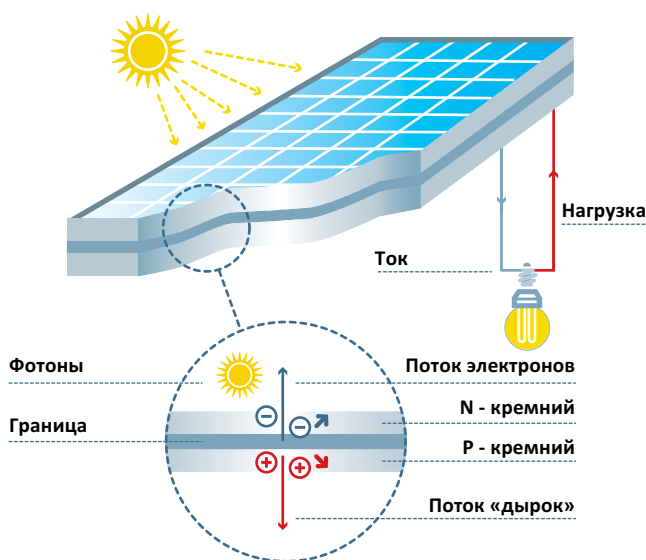
Фотоэлектрические технологии могут использоваться для производства экологически чистой энергии как в малых, так и крупных системах. Они уже устанавливаются и используются для производства электрической энергии в различных странах в частных домах, домохозяйствах, офисах и общественных зданиях.

Сегодня полнофункциональные фотоэлектрические установки используются как в городах, так и в отдаленных районах, не имеющих доступа к электросети, а

также районах, в которых отсутствует энергетическая инфраструктура. Фотоэлектрические установки, работающие в удаленной местности, известны как автономные системы. В городах фотоэлектрические системы могут устанавливаться на крышах зданий (надомные адаптируемые фотоэлектрические системы) или быть встроенными в крышу или фасад зданий (встроенные фотоэлектрические системы).

Выбор современных фотоэлектрических систем не ограничивается квадратными и плоскими солнечными батареями. Они могут быть изогнутыми, гибкими и принимать форму конструкции здания. Архитекторы и инженеры, занимающиеся разработкой инновационных технологий, регулярно находят новые решения для интегрирования фотоэлектрических систем в свои проекты, создавая здания, которые имеют не только красивый и динамичный внешний вид, но и обеспечиваются бесплатной, экологически чистой энергией на протяжении всего срока эксплуатации зданий.

Рис. 7.2. Пример фотоэлектрического эффекта



Источник: EPIA.

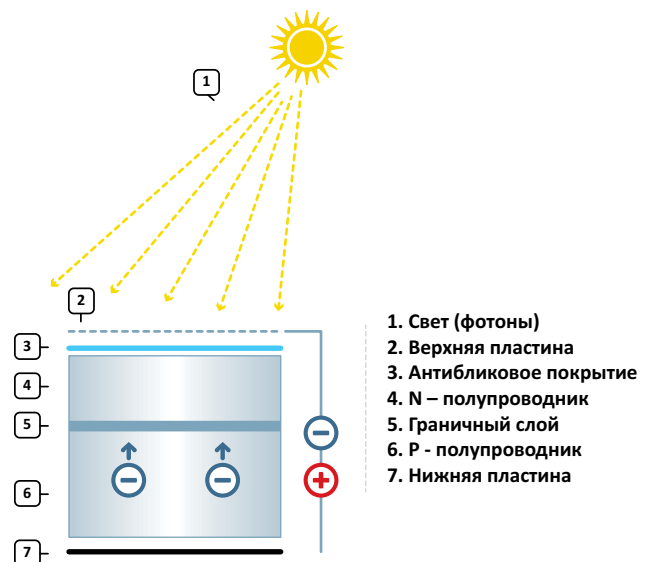
7.3.2. Фотоэлектрические элементы и модули

Технологии на основе кристаллического кремния

Фотоэлектрические элементы на основе кристаллического кремния изготавливаются из тонко нарезанных слоев монокристаллов кремния (монокристаллические) или блока кристаллов кремния (поликристаллические или мультикристаллические). Эта технология получила наиболее широкое применение, и на нее сегодня приходится около 80% рынка. Кроме того, данная технология существует также в виде ленточных листов (Hoffmann/Teske 2012)¹²⁵.

¹²⁵ (Hoffmann/Teske 2012) Preparation for EPIA/Greenpeace Solar Generation report series (Edition I – VI).

Рис. 7.3. Фотоэлектрическая технология



Источник: EPIA.

Тонкопленочная технология

Тонкопленочные модули создаются путем нанесения очень тонких слоев светочувствительных материалов на подложку, например, из стекла, нержавеющей стали или гибкого пластика. Последний предлагает целый ряд решений для практического применения, особенно в части встраивания фотоэлектрических систем в здания (кровельная плитка) и конечного потребления. В настоящее время на рынке представлены четыре типа тонкопленочных модулей: на основе аморфного кремния, теллурида кадмия, диселенида/дисульфида меди, индия/галлия, – а также многопереходные тонкопленочные элементы.

Другие развивающиеся технологии солнечных элементов (которые находятся на стадии разработки или начальной стадии промышленного производства)

К ним относятся концентрированные фотоэлектрические технологии, предусматривающие использование фотоэлектрических элементов, встроенных в коллекторы концентрирующих систем, в которых используются линзы для фокусировки концентрированного солнечного света на солнечных элементах, а также органические солнечные элементы. Соответственно, активный материал состоит, по крайней мере частично, из органического красителя, небольших летучих органических молекул или полимера.

Солнечные элементы объединяются в более крупные блоки, которые называются модулями.

Для крепления и защиты солнечных элементов от погодных явлений используются тонкие листы этилвинилацетата или поливинилбутираля. Модули, как правило, накрываются прозрачным (обычно стеклянным) листом и укладываются на подложку (которая, как правило, изготавливается из тонкого слоя полимера), устойчивую к воздействию погодных явлений. Для придания дополнительной механической прочности и долговечности модули могут быть помещены в каркас. Тонкопленочные модули, как правило, обшиты двумя стеклянными листами и, соответственно, не нуждаются в использовании каркаса (EPIA 2011)¹²⁶.

Таблица 7.1. Тип и размер систем в разрезе сегментов рынка

Тип систем	Бытовые <10 кВт (пик)	Коммерческие 10 кВт (пик) – 100 кВт (пик)	Промышленные 100 кВт (пик) – 1 МВт (пик)	Для коммунальных предприятий >1МВт (пик)
Наземные	-	-	Да	Да
Накрышные	Да	Да	Да	
Встраиваемые в фасад/крышу	Да	Да	-	

7.3.3. Фотоэлектрические системы

Ключевыми компонентами системы генерирования солнечной энергии являются:

- фотоэлектрические модули для улавливания солнечного света;
- инвертор для преобразования постоянного тока в переменный;
- комплект батарей для автономных фотоэлектрических систем;
- опорные конструкции, предназначенные для направления солнечных модулей к солнцу.

Компоненты системы, за исключением фотоэлектрических модулей, именуется компонентами баланса системы.

Промышленные и коммунальные электростанции

Крупные промышленные фотоэлектрические системы могут производить огромное количество электрической энергии в одном месте. Генерирующая мощность таких электростанций колеблется от сотен кВт до сотен МВт.

Солнечные панели для промышленных систем, как правило, крепятся на каркасы, установленные на земле. Тем не менее они также могут устанавливаться на крупных промышленных зданиях, таких как склады, терминалы аэропортов и железнодорожные станции. Система может привести к новому использованию городского пространства и поставлять электрическую энергию в сеть, где сосредоточены энергоемкие потребители.

Бытовые и коммерческие системы

С выходом в сеть

Системы, подключенные к сети, являются наиболее распространенным типом фотоэлектрических систем для бытового и коммерческого использования в развитых странах. Выход в локальную электросеть позволяет продавать избыточную электроэнергию коммунальным предприятиям. В темное время суток используется энергия электросети. Для преобразования постоянного тока, производимого системой, в переменный, который используется обычно для работы электрического оборудования, применяется инвертор (см. рис. 7.4). Данный тип фотоэлектрической системы именуется системой с поддержкой электросети. Система с поддержкой электросети может быть подключена к локальной электросети, а также к резервной батарее. Энергия, произведенная после того, как батарея полностью заряжена, подается в сеть. Эта система является идеальной для районов, где электроэнергия подается с перебоями.

Автономные (без выхода в электросеть) системы

Автономные фотоэлектрические системы не имеют выхода в сеть. Автономная система, как правило, комплектуется аккумуляторными батареями, поэтому электрическую энергию можно использовать в темное время суток или через несколько дней пасмурной погоды (см. рис. 7.4). Для преобразования постоянного тока, производимого системой, в переменный, который используется обычно для работы электрических приборов, необходим инвертор. Основные виды применения автономных систем рассмотрены ниже.

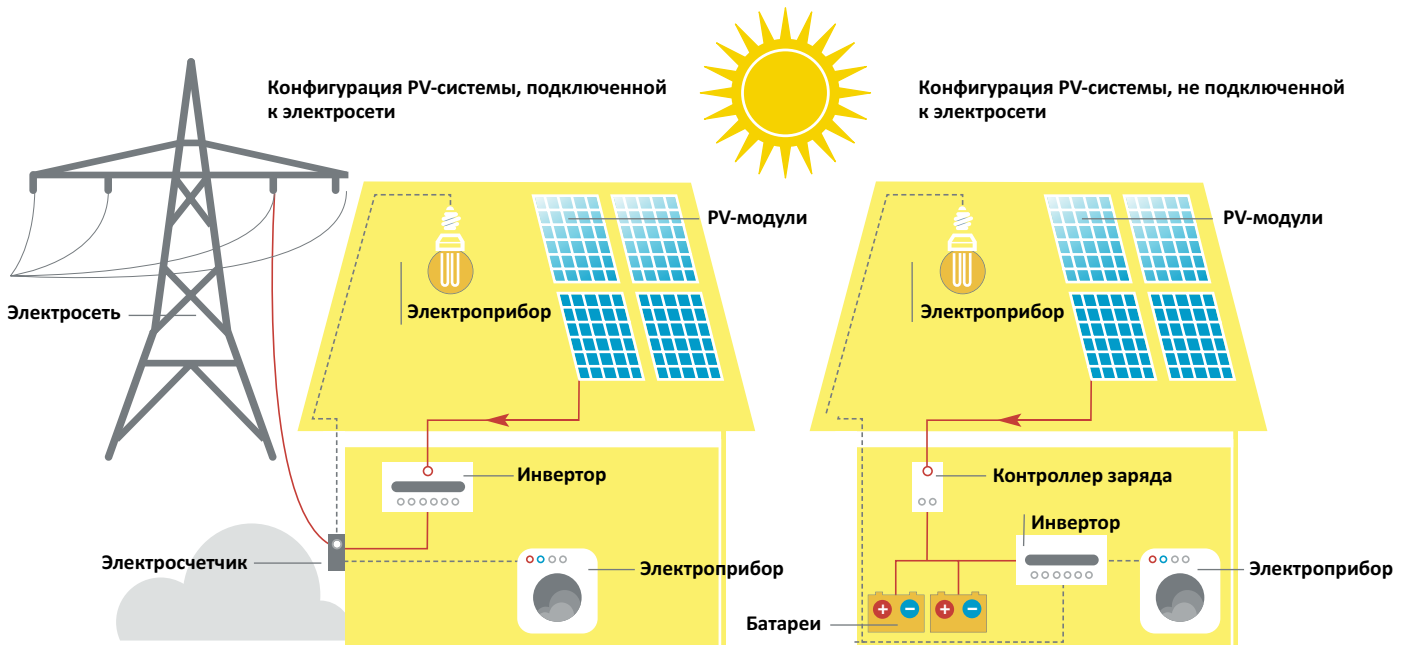
¹²⁶ (EPIA 2011) Solar Generation 6 – EPIA-Greenpeace report; European Photovoltaic Industry Association (EPIA); GPI, Brussels/Amsterdam, 2011.

- **Автономные системы для электрификации сельских районов.** Автономные системы поставляют электрическую энергию в отдаленных районах или селах в развивающихся странах. Это могут быть малые бытовые системы, которые покрывают базовые потребности в электрической энергии отдельного домохозяйства, или более крупные солнечные мини-сети, которые производят электрическую энергию в объемах, достаточных для электроснабжения нескольких домохозяйств, сообщества или малого предприятия.
- **Использование автономных систем в промышленных целях.** Автономные промышленные системы используются в отдаленных районах для обеспечения электрической энергией ретрансляционных станций мобильной связи (обеспечение коммуникаций), средств морской навигации, дорожных сигнальных знаков, дистанционного включения освещения, знаков регулирования движения, а также водоочистных станций. Используются как системы, состоящие исключительно из фотоэлектрических элементов, так и гибридные системы. Гибридные системы используют как солнечную энергию, когда она доступна, так и другие виды топлива (в темное время суток или в про-

должительные периоды облачной погоды). Автономные промышленные системы представляют собой экономичное решение транспортирования электрической энергии в районы, находящиеся на очень большом расстоянии от существующих электросетей. Высокая стоимость прокладки кабелей делает автономные солнечные системы экономически выгодным вариантом.

- **Потребительские товары.** Фотоэлектрические элементы сегодня присутствуют во многих электроприборах повседневного использования, таких как часы, калькуляторы, игрушки и зарядные устройства (например, встраиваемые в одежду и сумки). Автономные фотоэлектрические системы также часто используются в техническом оборудовании, например, дождевальных системах, дорожных знаках, световых витринах и телефонных будках.
- **Гибридные системы.** В целях обеспечения бесперебойного электроснабжения солнечная система может применяться также с другим источником энергии – генератором, работающим на биомассе, ветровой турбиной или дизельным генератором. Гибридная система может иметь выход в сеть или быть автономной.

Рис. 7.4. Различные конфигурации солнечных энергетических систем



Источник: EPIA 2011.

7.3.4. Ветровая энергия

За последние 20 лет энергия ветра стала самым быстроразвивающимся источником электрической энергии в мире. Самодостаточность турбинных технологий увеличилась, и сегодня мощность отдельной турбины может достигать 7 мегаватт. В Европе ветропарки, как правило, хорошо интегрированы в окружающую среду и положительно воспринимаются общественностью. Малые модели могут производить электроэнергию для районов, которые не подключены к центральной электросети, при помощи аккумуляторных батарей.

Конструкция ветровой турбины

Современные ветровые технологии могут использоваться как при низких, так и при высоких скоростях ве-

тра и в различных климатических условиях. Были изучены различные конфигурации прибрежных ветровых турбин, включая конструкции как с горизонтальной, так и с вертикальной осью (см. рис. 7.5). На сегодняшний день большинство коммерчески используемых турбин имеют горизонтальную ось, оснащенную наветренным ротором с тремя лопастями; расположение ротора турбины с наветренной стороны не дает башне блокировать потоки ветра на лопасти, а также позволяет избежать дополнительного аэродинамического шума и нагрузки (EWEA 2008)¹²⁷.

¹²⁷ (EWEA 2009) Wind energy – the facts; European Wind Energy Association; Brussels/Belgium; <http://www.wind-energy-the-facts.org>.

Рис. 7.5. Первые конструкции ветровой турбины EWEA

Ветровая турбина с горизонтальной осью



Ветровая турбина с вертикальной осью

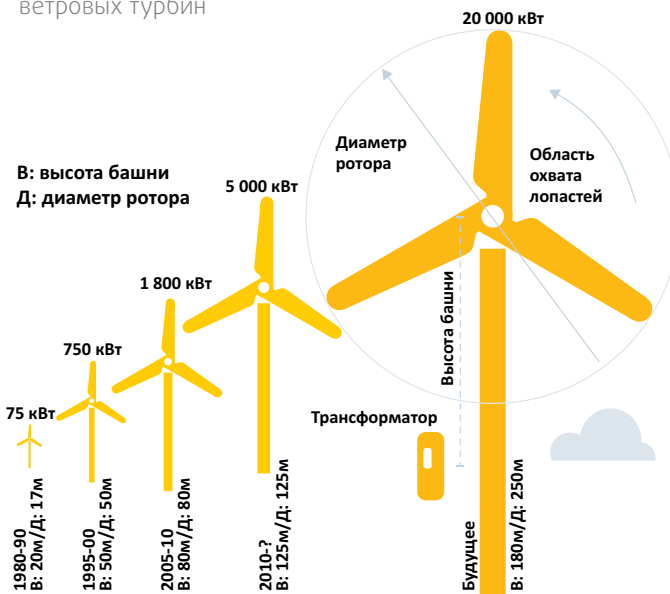
Источник: South et.al. 1983/EWEA 2008.

Лопастей подсоединены к оси и приводному валу, который передает электрическую энергию на генератор, в некоторых случаях при помощи коробки передач (в зависимости от конструкции). Получаемая электроэнергия подается в трансформатор, расположенный в нижней части башни, и затем поступает в локальную сеть. Приводной вал и подшипники приводного вала, коробка передач, генератор и система управления находятся внутри корпуса, называемого гондолой. Поскольку размер турбин со временем увеличился, управление производством электроэнергии осуществляется при помощи раскачивания (т.е. вращения) лопастей вдоль их длинной оси¹²⁸.

Снижение стоимости силовой электроники позволило использовать турбины при переменной скорости ветра. Это помогает обеспечивать непрерывность производства электрической энергии при переменных и порывистых ветрах, обеспечивать непрерывность производства электроэнергии крупными ветровыми электростанциями во время отказов оборудования, а также обеспечивать реактивную мощность. Современные ветровые турбины, как правило, работают с переменными скоростями, используя регулирование полного шага лопасти. За последние 30 лет средний размер ветровой турбины значительно увеличился (рис. 7.6), при этом большинство наземных ветровых турбин, установленных в различных странах в 2014 году, имеют номинальную мощность 3,5–7,5 МВт; средний размер турбин, установленных в 2014 году, составил около 2,5–3,0 МВт. По состоянию на 2015 год ветровые турбины, используемые на суше, как правило, имеют башни высотой от 80 до 120 м и роторы диаметром от 80 до 125 м. Например, средняя высота башни ветровых турбин, установленных в Германии в 2014 году, составила 93 м (STATISTICA 2015)¹²⁹. Некоторые промышленные образцы имеют диаметр и высоту башни более 125 м, при этом разрабатываются еще более крупные модели. Современные турбины имеют скорость вращения от 12 до 20 оборотов в минуту (об/мин), что существенно ниже скорости вращения турбин, разработанных в 1980-х годах (60 об/мин). Современные роторы работают медленнее, производят меньше шума и имеют более гармоничный внешний вид.

Прибрежные ветровые турбины, как правило, объединяются в ветровые электростанции с генерирующей мощностью от 5 до 300 МВт. Их иногда называют ветропарками. Размер турбин увеличивается, чтобы сократить стоимость производства электроэнергии (достичь «более качественного ветра»), стоимость инвестиций на единицу генерирующей мощности, а также уменьшить эксплуатационные расходы и стоимость технического обслуживания (EWEA 2014)¹³⁰.

Рис. 7.6. Увеличение размера типовых промышленных ветровых турбин



Источник: EWEA 2008/2014.

Что касается наземных турбин, то выбор инженерных и логистических решений для них ограничен размером, поскольку элементы конструкции приходится перевозить автомобильным транспортом. Современные ветровые турбины практически достигли своего теоретического максимума (0,59) аэродинамической эффективности, которая измеряется коэффициентом полезного действия (от 0,44 в 1980-х годах до примерно 0,50 к середине 2000-х годов).

¹²⁸ EWEA 2009.

¹²⁹ (STATISTICA 2015); Online statistical research tool; <http://www.statista.com/statistics/263905/evolutionof-the-hub-height-of-german-wind-turbines>.

¹³⁰ (EWEA 2014) Wind energy scenarios for 2020; European Wind Energy Association; July 2014; www.ewea.org

7.3.5. Энергия биомассы

Биомасса – это широкое понятие, обозначающее материал биологического происхождения, который может быть использован в качестве источника энергии. К нему относятся древесина, сельскохозяйственные культуры, водоросли и другие растения, а также сельскохозяйственные и лесосечные отходы. Диапазон конечного применения биомассы широк: отопление, производство электроэнергии и топлива для транспортных средств. Термин «биоэнергия» используется для обозначения энергетических систем на основе биомассы, которые производят тепловую и/или электрическую энергию. Термин «биотопливо» означает жидкое транспортное топливо. В качестве транспортного топлива, особенно с учетом роста цен на нефть, все шире используются биодизель и биоэтанол, которые изготавливаются из различных сельскохозяйственных культур.

Источники биоэнергии являются возобновляемыми, просты в хранении и нейтральны как источники углекислого газа (CO₂). Количество газа, выбрасываемого при их преобразовании в полезную энергию, уравновешивается количеством углекислого газа, которое они поглотили во время роста как растения. Очень важно, чтобы биоэнергия уменьшала выбросы парниковых газов. Только в этом случае использование биоэнергии имеет смысл с точки зрения экологии.

Электростанции на биомассе работают по такому же принципу, что и угольные и газовые. Разница лишь в том, что перед сжиганием биотопливо должно быть обработано. Эти электростанции, как правило, не такие крупные, как угольные, поскольку топливо, используемое в них (растительного происхождения), должно произрастать как можно ближе к месту расположения электростанции. Производство тепловой энергии установками на биомассе осуществляется либо путем использования системы комбинированного производства тепловой и электрической энергии, при помощи которой тепло подается в близлежащие дома или предприятия, либо за счет специальных систем теплоснабжения. Например, небольшие системы теплоснабжения, в которых используются специальные пеллеты, изготовленные из отходов древесины, могут применяться для теплоснабжения частных домов для одной семьи вместо природного газа или дизельного топлива.

7.3.6. Технологии на биомассе

Существует ряд технологий, которые позволяют производить энергию из биомассы: термохимические процессы (прямое сжигание твердых, жидких или газообразных материалов методом пиролиза или газификации) и биологические системы (разложение и сбраживание твердой биомассы в анаэробных условиях, в результате чего образуется жидкое или газообразное топливо).

Термохимические технологии

Прямое сжигание

Прямое сжигание – наиболее распространенный метод преобразования биомассы в тепловую и электрическую энергию, на который приходится более 90% использования биомассы в качестве источника энергии. Процессы сжига-

ния хорошо изучены. Водород и углерод в топливной смеси вступают в реакцию с избыточным кислородом, в результате чего образуется CO₂ и вода, а также выделяется тепло. В сельской местности большое количество биомассы в различных формах сжигается для приготовления пищи. Кроме того, дерево и древесный уголь используются в качестве промышленного топлива. Множество существующих промышленных технологий адаптированы к характеристикам биомассы и масштабам ее применения (IEA Bio-2009).

Технологии могут включать сжигание в неподвижном слое, в сжиженном слое или в эжектируемом потоке. При технологии сжигания с применением неподвижного слоя, например в колосниковой печи, воздух проходит через неподвижный слой, в котором происходит осушение, газификация и сжигание древесного угля. Выделяемые горючие газы дополнительно сжигаются после добавления вторичного воздуха, как правило, в зону, отделенную от твердого слоя. При технологии сжигания в кипящем слое первичный воздух, поступающий в зону горения, нагнетается в нижней части печи с такой скоростью, что материал, находящийся внутри печи, превращается в кипящую массу частиц и газовых пузырей. Сжигание с применением инжектируемого потока используется для топлива в виде мелких частиц, такого как древесные опилки или тонкие стружки, которые пневматически инжектируются в печь.

Газификация

Топливо, полученное из биомассы, все чаще используется с передовыми конверсионными технологиями, такими как системы газификации, которые более эффективны, чем традиционное производство электроэнергии. Газификация биомассы происходит в результате частичного ее окисления после нагревания, что приводит к образованию горючей газовой смеси (именуемой «рабочий газ» или «топливный газ»), насыщенной CO и водородом (H₂). Энергетический эквивалент этой смеси составляет от 5 до 20 МДж/нм³ (в зависимости от типа биомассы и способа осуществления газификации (при помощи воздуха, водорода или непрямого нагрева). Этот энергетический эквивалент составляет приблизительно от 10 до 45% теплотворной способности природного газа (IPCC SRREN 2011)¹³¹.

Затем топливный газ может быть доведен до состояния более качественной газовой смеси, именуемой синтетическим биогазом или синтетическим газом (Faaij 2006)¹³². Неконвертированный газ может использоваться для комбинированного производства электрической энергии при помощи газовой турбины, котла или паровой турбины. При помощи электрогенераторов синтетический газ может использоваться в качестве топлива вместо дизеля в специально разработанных или адаптированных двигателях внутреннего сгорания. В наиболее популярных сегодня газификаторах используется древесина или древесная биомасса. Специальные газификаторы могут преобразовывать в газ биомассу недревесного происхождения (Yokoyama and Matsumura 2008)¹³³. По сравнению со сжиганием газификация более эффективна – она обеспечивает более эффективное управляемое теплоснабжение, более высокую эффективность

¹³¹ (IPCC-AR5-SPM) International Panel on Climate Change – 5th Assessment Report; Climate Change 2014, Summary for Policy Makers; http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/ar5_syr_final_spm.pdf

¹³² (Faaij 2006).

¹³³ (Yokoyama and Matsumura 2008).

при производстве электроэнергии и возможность параллельного производства химических веществ и топлива (Kirkels and Verbong 2011)¹³⁴. Газификация по сравнению с прямым сжиганием и паровым циклом сокращает выбросы углекислого газа.

Пиролиз

Пиролиз представляет собой процесс, при котором биомасса разлагается под действием высокой температуры при отсутствии кислорода (в анаэробных условиях). Продукты пиролиза включают в себя биогаз, жидкое биотопливо (бионефть или пиролизное масло) и твердое вещество (древесный уголь). Пропорции получаемых продуктов зависят от температуры и времени пребывания в зоне горения. При низких температурах образуется больше твердых и жидких продуктов, при высоких — больше биогаза. Подогрев исходного материала, полученного на основе биомассы, до умеренных температур (от 450°C до 550°C) позволяет произвести кислородсодержащие масла, которые являются основным продуктом (70–80%), а также биоуголь и газы (IEA Bio-2009).

Биологические системы

Эти технологии применимы для биомассы, состоящей из очень влажного материала, такого как пищевые или сельскохозяйственные отходы, включая навозную жижу.

Анаэробное расщепление

Анаэробное расщепление представляет собой распад органики под воздействием бактерий в бескислородной среде. В результате образуется биогаз, состоящий, как правило, на 65% из метана и на 35% из углекислого газа. Очищенный биогаз может быть использован для отопления или производства электроэнергии.

Сбраживание

Сбраживание представляет собой процесс, в результате которого растения, богатые сахаром и крахмалом, разлагаются под воздействием микроорганизмов для образования этанола и метанола. Получаемые продукты могут быть использованы в качестве горючего транспортного топлива.

Мощность электростанций на биомассе, как правило, составляет до 15 МВт. Однако электростанции на биомассе должны также использовать тепло, чтобы достичь максимально полного использования энергии, поэтому их мощность не должна превышать 25 МВт (электрической энергии). Электростанции данной мощности могут использовать биомассу местного происхождения, чтобы избежать поставок топлива на большие расстояния.

Биотопливо

Переработка сельскохозяйственных культур для получения этанола и биодизельного топлива из рапсового метилового эфира (РМЭ) в настоящее время осуществляется, в основном, в Бразилии, США и Европе. Также в будущем большую роль будут играть процессы производства синтетических видов топлива из газов, являющихся продуктом «биогенетического синтеза», особенно в системах авиационного и морского транспорта. Теоретически, биотопливо может быть получено из любого биологического источника углерода, но наиболее рас-

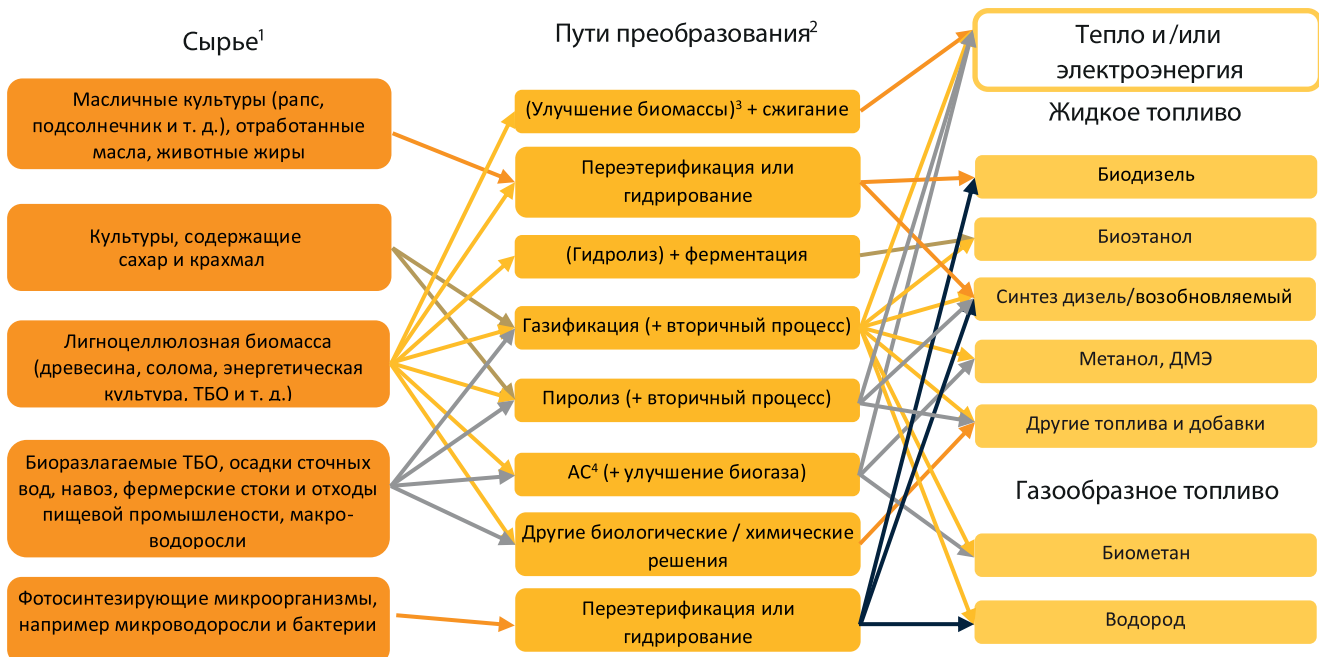
пространенными являются фотосинтетические растения. Для производства биотоплива используются различные растения и растительные материалы. В глобальном масштабе биотопливо чаще всего используется в качестве транспортного топлива, но может также использоваться и для других целей. Производство и использование биотоплива должно привести к чистому сокращению выбросов парниковых газов по сравнению с использованием традиционных ископаемых видов топлива, чтобы способствовать предотвращению изменения климата. Биотопливо, произведенное в соответствии с критериями устойчивости, может снизить зависимость от нефти и тем самым улучшить энергетическую безопасность.

- Биозтанол – это топливо, получаемое путем ферментации сахаров. Используется как естественный сахар (содержащийся в сахарном тростнике или свекле), так и сахар, получаемый путем расщепления крахмала в злаках, таких как пшеница, рожь, ячмень или кукуруза. В Европейском союзе биозтанол, в основном, производится из зерна, преимущественно из пшеницы. В Бразилии основным сырьем является сахарный тростник, а в США – кукуруза (маис). Биозтанол, полученный из злаков, имеет побочный продукт – богатый белками корм для животных, именуемый «сухая гранулированная барда» (DDGS). Из каждой тонны зерновых культур, используемых для производства этанола, в среднем одна треть будет поступать в качестве корма для животных в виде DDGS. В связи с высоким содержанием белка DDGS в настоящее время используется в качестве заменителя соевого жмыха. Биозтанол можно либо непосредственно смешивать с бензином, либо использовать в форме этил-трет-бутилового эфира.
- Биодизельное топливо получают из растительного масла, произведенного из рапса, семян подсолнечника или соевых бобов, а также из использованного растительного масла или животных жиров. Использование отработанных растительных масел в качестве исходного сырья для производства биодизельного топлива уменьшает загрязнение, причиняемое отработанными маслами, предлагая новый метод преобразования отходов в транспортную энергию. Смеси из биодизельного и обычного дизельного топлива являются наиболее распространенными продуктами, реализуемыми на розничном рынке транспортного топлива.
- Большинство стран используют систему маркировки, которая указывает на долю биодизеля в любой топливной смеси. Топливо, в котором доля биодизеля составляет 20%, имеет маркировку B20, в то время как топливо, состоящее исключительно из биодизеля, имеет маркировку B100. Смеси, состоящие на 20% из биодизеля и на 80% из нефтяного дизельного топлива (B20), могут, как правило, использоваться в традиционных дизельных двигателях. Использование топливной смеси, доля биодизеля в которой составляет 100% (B100), может потребовать внесения определенных изменений в двигатель. Биодизельное топливо можно использовать в бытовых или промышленных отопительных котлах. В старых печах могут быть резиновые элементы, растворяемые биодизельным топливом, но если их нет, топливо сгорит без каких-либо преобразований.

Существует множество различных типов сырья на основе биомассы, а также многочисленные преобразовательные технологии, которые позволяют производить топливо, используемое в технологиях производства тепловой и/или электрической энергии, а также транспортных технологиях. На рис. 7.7 представлен краткий обзор.

¹³⁴ Kirkels and Verbong 2011.

Рис. 7.7. Схематическое изображение коммерческих решений использования биоэнергии



¹ Части каждого сырьевого материала, например отходы культур, могут быть использованы в других решениях.

² Каждое решение может также производить побочные продукты.

³ Улучшение биомассы включает процессы уплотнения (такие как гранулирование, пиролиз, прокаливание и т.д.).

⁴ АС = анаэробное сбраживание.

Источник: IEA-Bio 2009.

7.3.7. Гидроэлектроэнергия

Энергия движения воды используется для производства электричества на протяжении почти столетия. Около пятой части всей электроэнергии все еще производится на гидроэлектростанциях. Основным условием гидроэнергетических технологий является создание искусственного напора воды, который имеет достаточную энергию для приведения в действие турбины при отводе воды в канал или трубу.

Классификация по высоте напора воды и размеру

«Напор» в гидроэнергетике означает разницу между уровнем воды в верхнем и нижнем бассейне, который определяет давление воды на турбины. Как и высота сбрасывания, уровень давления определяет тип гидравлической турбины, который будет использоваться. Классификация «высокого напора» и «низкого напора» отличается в зависимости от страны, общепринятых значений не существует. В целом импульсные турбины Пелтона применяются в условиях сильного напора воды (когда напор воды ударяет по турбине и изменяет направление). Реактивные турбины Френсиса применяются в условиях среднего напора (используются в условиях высокого расхода воды и, по сути, образуют гидродинамический «лифт», вращающий лопасти турбины). В условиях низкого напора воды применяются турбины Каплана и капсульные турбины.

Таким образом, классификация турбин осуществляется на основании установленной генерирующей мощности, измеряемой в МВт. Среди русловых электростанций преобладают малые электростанции, но в резервуарных (аккумулирующих) гидроэлектростанциях всех размеров используются одинаковые основные компоненты и технологии. Как правило, строительство и интеграция малых гидроэлектростанций в местную среду требуют меньше времени и усилий¹³⁵, поэтому количество новых электростанций этого типа растет во многих регионах мира. Малые гидроэлектростанции часто строятся в отдаленных районах, где использование иных энергетических ресурсов экономически нецелесообразно или нежизнеспособно.

Классификация по размеру объекта

Гидроэлектростанции также делятся на следующие категории в зависимости от эксплуатации и типа потока:

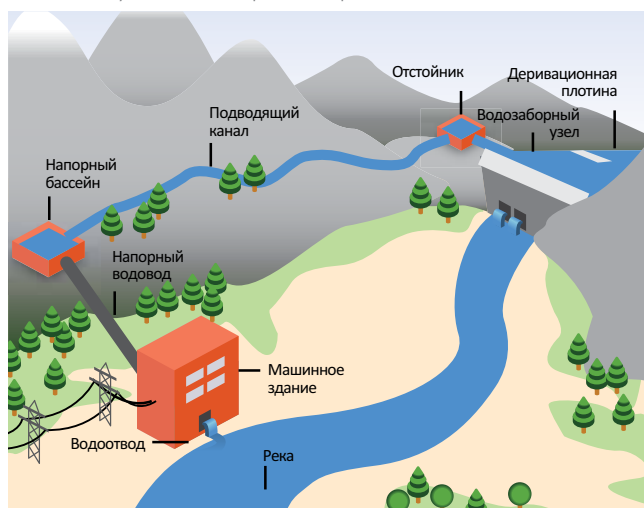
- русловые;
- аккумулирующие (резервуарные);
- гидроаккумулирующие;
- свободнопоточные гидроэлектростанции – новая и наименее развитая технология.

¹³⁵ Egge and Milewski, 2002

Русловые

Эти электростанции получают энергию, необходимую для производства электричества, преимущественно из существующего речного потока и не аккумулируют больших объемов воды. Они могут осуществлять некоторое краткосрочное аккумулирование (почасовое, ежедневное), но профиль генерирования энергии, как правило, определяется локальными условиями речного потока. Поскольку генерирование энергии зависит от количества осадков, его показатели могут существенно отличаться в суточном, месячном или сезонном выражении, особенно если речь идет об электростанциях, построенных на небольших реках или ручьях, сила потока воды в которых существенно колеблется. Как правило, гидроэлектростанции такого типа отводят некоторое количество воды в канал или трубопровод (шлюз) с целью ее направления на гидравлическую турбину, подключенную к генератору (см. рис. 7.8). Проекты русловых гидроэлектростанций могут образовывать каскады вдоль речной долины, часто вместе с резервуарными гидроэлектростанциями, которые обустраиваются в верховьях долины. Русловые установки являются, как правило, недорогими. Данные сооружения оказывают меньшее воздействие на окружающую среду, чем резервуарные гидроэлектростанции аналогичного размера.

Рис. 7.8. Русловая гидроэлектростанция



Источник: IPCC 2012: *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Резервуарные гидроэлектростанции

Гидроэлектростанции с резервуаром также называют резервуарными гидроэлектростанциями. Резервуар снижает зависимость от изменений притока воды, а генерирующие установки размещаются на плотине или ниже по течению и соединяются с резервуаром при помощи туннелей или трубопроводов (рис. 7.9). Конструкция резервуаров зависит от ландшафта. Многие страны затопляют речные долины для создания искусственных озер. Озера, расположенные высоко в горах, представляют собой еще один тип резервуаров, которые обладают многими свойствами естественного озера. В таких конфигурациях генерирующая станция часто соединяется с озером-резервуаром при помощи туннелей (труб, соединяющих с озером). Например, в скандинавских странах естественные высокогорные озера создают системы высокого давления, в которых высота

напора может достигать более 1000 м. Резервуарная электростанция может иметь туннели, идущие из нескольких водохранилищ, а также может быть подключена к соседним водосборам или рекам. Крупные гидроэлектростанции с бетонными плотинами и большими водосборными озерами часто оказывают очень негативное воздействие на окружающую среду, поскольку для их строительства затопляются населенные территории.

Рис. 7.9. Стандартная резервуарная гидроэлектростанция

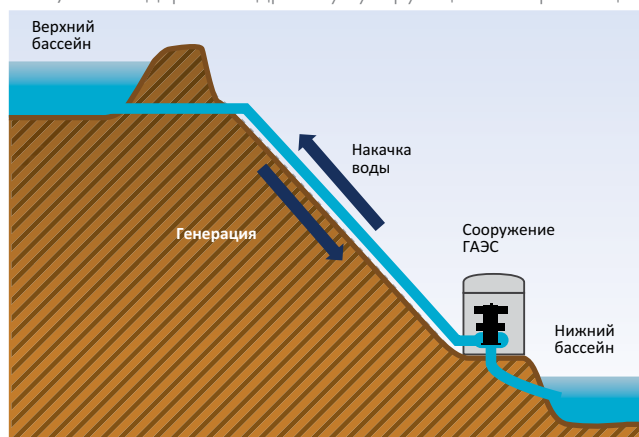


Источник: IPCC 2012: *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Гидроаккумулирующие электростанции

Гидроаккумулирующие электростанции производят и аккумулируют электрическую энергию. В гидроэлектростанциях такого типа вода накачивается из нижнего резервуара в верхний (рис. 7.10), как правило, в часы минимальной нагрузки, когда действуют низкие тарифы на электроэнергию. Накачанная вода хранится для производства электроэнергии в часы максимальной нагрузки или в любое другое время в зависимости от ситуации. Электростанция является чистым энергопотребителем, поскольку она использует электрическую энергию для накачивания воды; однако она предлагает определенные преимущества для энергетической системы, помогая справляться со скачками в энергопотреблении. Гидроаккумулирование позволяет накапливать наибольшие объемы электрической энергии для энергетической сети по сравнению с любыми другими решениями.

Рис. 7.10. Стандартная гидроаккумулирующая электростанция



Источник: IPCC 2012: *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Свободнопоточные гидроэлектростанции

Чтобы оптимально использовать существующие объекты, такие как плотины, дамбы, каналы или водопады, для производства электроэнергии могут устанавливаться турбины или гидрокинетические турбины (рис. 7.11). Принцип их работы, по сути, аналогичен принципу, используемому в случае с русловыми гидроэлектростанциями. Гидрокинетические устройства, разрабатываемые для сбора энергии приливов и течений, также могут использоваться в отдаленных от моря районах на незарегулированных реках и в искусственных водных путях.

Рис. 7.11. Стандартная свободнопоточная электростанция



Источник: IPCC 2012: *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Гидроэнергетика: будущие разработки

На рынке крупных гидроэлектростанций (более 10 мегаватт) доминирует относительно небольшое количество поставщиков оборудования. Основное оборудование остается прежним, хотя информационные технологии и позволили повысить его эффективность за счет дополнительных услуг – от мониторинга и диагностики до усовершенствованных систем управления. Новые исследования необходимы для достижения дальнейшего прогресса и уменьшения существенного воздействия крупных гидроэлектростанций на экосистемы и местные сообщества (IRENA-Hydro-2015)¹³⁶. Прежде чем разрабатывать проект, необходимо провести консультации с местным населением. Существует 3 категории гидроэлектростанций:

- крупные гидроэлектростанции (>10 МВт эл.);
- малые гидроэлектростанции (≤10 МВт эл.);
- мини-гидроэлектростанции (100 кВт – 1 МВт эл.).

В малых гидроэлектростанциях (от 1 МВт до 10 МВт) используется множество различных конструкций, оборудованных

и материалов. Поэтому научные знания широкого спектра отраслей имеют решающее значение для максимально полного использования потенциала доступных местных ресурсов без ущерба для окружающей среды (IRENA-Hydro-2015).

Модернизация – отличный способ получать большее количество энергии при помощи существующих гидроэнергетических объектов. К тому же модернизация является наименее затратным решением. В действительности при незначительных расходах можно получить на 5-10% больше электрической энергии. Однако юридические и технические препятствия могут помешать реконструкции, например, в случае с ограничениями документации, которая была создана десятки лет назад. Сегодня существует возможность тщательно проанализировать местные геологические и гидрологические условия, что позволяет оценить потенциальную выгоду от модернизации (IRENA-Hydro-2015). В сценариях Энергетической [р]еволюции модернизация существующих гидроэлектростанций имеет особое значение, а также является более приоритетной, чем строительство новых, и особенно крупных, электростанций.

7.4. Технологии электросетей – инфраструктура для возобновляемых источников энергии

С ростом доли рынка возобновляемой энергетики будет оставаться все меньше места для базовых электростанций. Следовательно, обычные электростанции не смогут в будущем работать в режиме базовой нагрузки, что приведет к увеличению эксплуатационных затрат и, соответственно, снижению прибыли в пересчете на каждый проданный кВт·ч. Интеграция крупных объектов возобновляемой энергетики требует использования множества существующих электросетевых технологий в новом контексте и с применением новых принципов эксплуатации. В данном разделе представлен краткий обзор технологий и принципов эксплуатации, которые используются для интеграции крупных долей возобновляемой энергетики в электросеть и основываются на международных докладах Гринпис в сфере электросетей, опубликованных в период с 2009 по 2014 годы (GPI-EN 2014)¹³⁷.

Интеллектуальные энергетические сети будут играть важную роль, в частности, за счет интеграции управления спросом (demand-side management) в процесс эксплуатации энергетической системы. Энергообеспечение в будущем будет осуществляться не при помощи лишь нескольких централизованных электростанций, а с использованием множества малых генерирующих установок, таких как солнечные панели, ветровые турбины и другие генерирующие установки на ВИЭ – часть из которых будет задействована в распределительной сети, а

¹³⁶ IRENA-Hydro-2015) Hydropower – Technology Brief; IEA-ETSAP and IRENA Technology Brief Eo6 – February 2015. www.etsap.org – www.irena.org; International Renewable Energy Agency (IRENA); Energy Technology Systems Analysis Programme.

¹³⁷ (GPI-EN2014) Powe[r] 2030 – A European Grid for 3/4 Renewable Electricity by 2030; Greenpeace international/Energynautics; March 2014.

остальные будут объединены в крупные электростанции (такие как ветропарки). Разработки в области интеллектуальных энергетических сетей помогут интегрировать все эти технологии в работу энергетической системы и управлять ими, упрощая объединение энергетических сетей.

Компромисс заключается в том, что планирование энергетической системы станет более сложным из-за большего количества генерирующих мощностей и значительной доли установок переменной генерации, вызывающей постоянное изменение потоков электроэнергии в энергосистемах. Для поддержки планирования энергосистемы (активной поддержки планирования на сутки вперед и балансирования энергосистемы за счет предоставления информации в режиме реального времени о состоянии сети и генерирующих установках, а также прогнозов погоды) возникнет необходимость в технологиях интеллектуальной электросети. Технологии интеллектуальных электросетей будут играть важную роль в обеспечении способности систем покрывать пиковое потребление на постоянной основе. Эти технологии позволят лучше использовать распределительную и передающую инфраструктуру, тем самым сводя необходимость расширять передающие сети к абсолютному минимуму.

Интеллектуальные электросети применяют информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), чтобы можно было использовать энергосистемы на основе ВИЭ

ИКТ используются в интеллектуальных электросетях для:

- легкого подключения большого количества генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии к энергосистеме (технология «включай и работай»);
- создания более гибкой энергосистемы при помощи управления спросом в крупных масштабах и интегрирования технологий аккумуляции для балансирования переменных возобновляемых источников энергии;
- предоставления оператору системы более качественной информации о ее состоянии, чтобы он мог более эффективно управлять системой;
- минимизации модернизаций сети за счет эффективного использования сетевой инфраструктуры и обеспечения эффективной координации производства электроэнергии на обширных географических участках, что необходимо для производства энергии из возобновляемых источников.

7.4.1. Управление спросом

Нагрузка сети изменяется в зависимости от времени. Поэтому для обеспечения необходимого количества электроэнергии требуются дополнительные, адаптируемые источники генерации. К типовым технологиям, которые используются в сельской местности, относятся парогазовые установки (ПГУ) или гидроэлектростанции,

имеющие достаточную аккумулирующую мощность, чтобы реагировать на ежедневные изменения нагрузки. В традиционных островных энергетических системах, как правило, используется ряд малых дизельных генераторов (генераторных установок), которые обеспечивают производство электрической энергии в режиме 24/7. Несколько генераторных установок работают непрерывно в точке их максимальной эффективности, в то время как одна используется для реагирования на изменения нагрузки в сети.

Добавление генерирующих мощностей возобновляемой энергии в традиционно централизованную или островную энергетическую систему повлияет на работу этой системы. Уровень такого воздействия зависит от технологий возобновляемой энергетики. Биоэлектростанции, геотермальные электростанции, концентрированные солнечные и гидроэлектростанции с резервуарами могут регулировать выходную мощность и, следовательно, обеспечивать базовую и максимальную нагрузку.

Гидроэлектростанции без резервуара (русловые), фотоэлектрические и ветровые электростанции зависят от доступных природных ресурсов и, соответственно, имеют переменную выходную мощность. Иногда эти возобновляемые источники энергии характеризуют как «прерывистые». Однако использование данного термина является некорректным, поскольку «прерывистый» означает неуправляемый, т.е. не поддающийся диспетчеризации. Тем не менее выходную мощность этих генерирующих установок можно прогнозировать, поэтому они могут быть распределяемыми.

Кроме того, в случае необходимости их мощность может быть снижена. При внедрении генерирующих мощностей возобновляемой энергетики в мини-сеть следует учитывать два важных воздействия: на балансирование и на надежность.

Воздействие на балансирование. Речь идет о кратковременных корректировках, необходимых для управления колебаниями от нескольких минут до нескольких часов до момента подачи электроэнергии. В энергетических системах, в которых отсутствуют переменные генерирующие мощности, может иметь место дисбаланс между энергоснабжением и энергопотреблением. Причинами этого могут быть неточные прогнозы энергетической нагрузки или работа традиционной электростанции с нарушением рабочего графика, например, если электростанция останавливается в аварийном режиме по причине технической неисправности. Интеграция в сеть переменных генерирующих мощностей возобновляемой энергетики увеличивает риск того, что прогнозируемая генерация электрической энергии в энергосистеме не будет достигнута, например из-за того, что метеорологические условия в регионе меняются быстрее, чем ожидалось. Общее воздействие на систему зависит от того, насколько велика доля переменных источников энергии и насколько широко они распространены в распределительных сетях. Определенное количество энергии ветра, распределенной по крупному географическому району, будет иметь меньшее воздействие на сбалансированность системы, чем аналогичное количество энергии ветра, сосредоточенное в одном месте, поскольку географическое распределение сгладит эффект переменной генерации возобновляемой энергии.

Балансирование системы имеет важное значение для:

- планирования на сутки вперед, в соответствии с которым должно быть сгенерировано достаточное количество электроэнергии, чтобы покрыть прогнозируемое потребление, с учетом прогнозируемого количества электроэнергии, вырабатываемой переменными источниками (как правило, на 12–36 часов вперед);
- краткосрочного планирования, при котором распределяются балансирующие ресурсы, для покрытия таких происшествий, как дисбаланс между прогнозируемым производством электроэнергии и энергопотреблением или внезапная потеря генерации (как правило, планирование на несколько секунд – несколько часов вперед).

В островных энергетических системах оба аспекта должны учитываться системой автоматически.

Воздействие на надежность представляет собой степень достаточности генерации электрической энергии для покрытия пикового потребления на постоянной основе. Ни одна электроэнергетическая система не может обеспечить 100%-ную надежность, поскольку всегда существует малая вероятность серьезных нарушений в работе электростанций или линий электропередачи в моменты высокого потребления. Поскольку производство возобновляемой электрической энергии часто является более распределенным по сравнению с традиционными крупными электростанциями, это снижает риск внезапного выхода из строя отдельных крупных генерирующих установок. С другой стороны, при использовании переменных генерирующих мощностей возобновляемой энергии есть вероятность того, что необходимый уровень генерации электроэнергии в моменты пикового потребления не будет обеспечен, а это дополнительно усложняет планирование системы. Для долгосрочного планирования системы, в рамках которого оценивается ее адекватность, как правило, на период от двух до десяти лет вперед, важна надежность. Долгосрочное планирование системы с переменными источниками генерации – непростая задача по причине фактического географического положения источника. Чтобы достичь высокой доли возобновляемой энергии в системе, они в идеальном варианте должны быть расположены на некотором расстоянии друг от друга, что будет позволять, например, использовать солнечную энергию из Южной Европы в условиях отсутствия или ограниченного количества энергии ветра в Северной Европе.

В островных энергетических системах все генерирующие установки, как правило, расположены близко друг к другу. Поэтому в островной системе должно быть несколько различных генерирующих технологий, которые будут отчасти проектироваться с запасом, чтобы обеспечить достаточную генерирующую мощность. Эта цель, как правило, достигается за счет использования некоторого количества резервных дизельных генераторных установок. Кроме того, островные энергетические системы могут адаптировать энергопотребление под уровень энергообеспечения, а не наоборот. Такой подход известен как управление энергопотреблением со стороны потребителя. Примером «адаптируемой» нагрузки в островных системах в рамках этого подхода является применение водяных и ирригационных насосов, которые можно включать и выключать в зависимости от уровня электроснабжения.

7.4.2. Сеть «сверхвысокого напряжения» – объединение интеллектуальных электросетей

Принимая во внимание текущий уровень развития технологий аккумулирования энергии, трудно представить, что аккумулирование энергии может обеспечить комплексное решение задачи перехода на ВИЭ. Несмотря на доступность различных аккумулирующих технологий, таких как электрохимические батареи, остается неясным, окажутся ли технологии аккумулирования электрической энергии в крупных масштабах, кроме гидроаккумулирующих технологий, представленных в предыдущем разделе, жизнеспособными как с технической, так и экономической точки зрения. Такие системы аккумулирования электрической энергии должны будут покрывать большую часть европейского электроснабжения непрерывно в течение двух недель с низким солнечным излучением и маловетреной погодой. Учитывая текущий уровень развития технологий, утверждать, что это будет возможно, нельзя. Чтобы спроектировать энергосистему, которая может адекватно реагировать на такие экстремальные ситуации, требуется тщательное планирование, которое позволит обеспечить доступность генерирующих мощностей вместе с достаточной пропускной способностью сети для обеспечения энергопотребления. Необходимо учитывать различные временные рамки:

- долгосрочное планирование систем для оценки их адекватности в течение ближайших лет (как правило, такое планирование охватывает временной горизонт от 2 до 10 лет);
- планирование на сутки вперед, которое должно подтвердить доступность достаточного количества генерирующих мощностей для покрытия прогнозируемого потребления (как правило, на 12–36 часов вперед);
- краткосрочное балансирование, которое охватывает такие события, как дисбаланс между прогнозируемым производством/потреблением электроэнергии или внезапная потеря генерации (как правило, планирование на срок от нескольких секунд до нескольких часов вперед).

Преимущества сети сверхвысокого напряжения

Начиная с 1920 года каждый энергоузел в Европе имел свою собственную изолированную энергосистему. С развитием линий электропередачи высокого напряжения стало возможным передавать электрическую энергию на большие расстояния. В скором времени произошло объединение энергоузлов. Вначале объединялись электростанции в пределах одного региона. С годами технология продолжила развиваться, и максимально возможное напряжение линии электропередачи постепенно увеличилось.

Существуют два основных фактора расширения структуры сети:

1. Крупные сети передачи и высоковольтные линии предполагали, что поставщики могут адаптироваться к совокупному потреблению энергии большого количества потребителей вместо адаптации к изменению потребления одного потребителя (которое может значительно меняться с течением времени) при помощи одного генерирующего ресурса. Потребление всех этих потребителей, вместе взятых, стало легче прогнозировать, — следовательно, значительно упростилось планирование графика генерации.
2. Крупные сети передачи сделали возможной экономию за счет масштабов, в частности использование более мощных генерирующих установок. В 1930-х годах наиболее выгодными с экономической точки зрения были тепловые электростанции мощностью около 60 МВт. В 1950-х годах этот показатель составил 180 МВт, а к 1980-м он достиг 1000 МВт. Такой подход был целесообразным исключительно с экономической точки зрения, поскольку расширение энергетической системы требовало меньших затрат, чем увеличение местных генерирующих мощностей.

Данный подход несет в себе некоторые существенные риски, такие как нарушение работы крупной электростанции или выход из строя основной линии передачи, что может, в свою очередь, вывести из строя энергетическую систему на большом участке территории. Чтобы быть лучше подготовленными к таким ситуациям, было принято решение объединить национальные системы передачи электроэнергии в Европе и других регионах через границы. Страны могут помогать друг другу в чрезвычайных ситуациях в части включения резерва мощности и контроля за частотой.

Переход к энергосистеме, в которой более чем 90% электроснабжения обеспечивается из возобновляемых источников энергии, также потребует значительных реконструкций сети передачи электроэнергии, чтобы адаптироваться к потребностям новой генерирующей структуры. Правильно подобранный тип сети обеспечивает экономичное, надежное и устойчивое энергообеспечение.

В принципе, увеличение мощностей генерирующих установок на местном уровне привело бы к снижению потребности в крупных генерирующих мощностях возобновляемой энергии в любом другом месте, а также модернизации сети передачи электроэнергии. В данном случае местная энергетическая система будет трансформироваться в гибридную систему, которая может работать без какой-либо внешней поддержки. Однако увеличение (избыточное) мощностей местных электростанций менее выгодно экономически в сравнении с установкой крупных электростанций на основе возобновляемых источников энергии в региональном масштабе с их интеграцией в энергетическую систему при помощи расширения линий электропередачи. Пропорция, согласно которой доля распределенных объектов ВИЭ должна составлять 70%, а доля крупных энергетических установок на основе возобновляемой энергии — 30%, не основывается на детальной технической или экономической оптимизации; оптималь-

ная конфигурация сети для каждой местности имеет свои особенности с учетом ее условий. Необходимо будет провести дополнительные исследования на региональном уровне, чтобы получить более качественную оценку соотношения долей распределенной генерации и производства электроэнергии крупными объектами. Должным образом спроектированная система передачи электрической энергии является решением для обеих ситуаций, поскольку она может использоваться для передачи необходимого количества электрической энергии из районов с избыточным генерированием в районы с его дефицитом. В целом система передачи электроэнергии должна быть способна решить:

- проблемы длительного характера: резкие изменения в доступности природных ресурсов в следующем году (например, производство электрической энергии при помощи ветровых турбин в любом отдельно взятом регионе может варьировать в пределах 30% из года в год). В гидроэнергетике эти изменения могут быть еще более существенными;
- среднесрочные проблемы: крайне неблагоприятная доступность природных ресурсов, например отсутствие ветра в основных частях Европы зимой, когда наблюдается низкая активность солнечного излучения;
- краткосрочные проблемы: существенный дисбаланс между прогнозируемым и фактическим объемом произведенной ветровой и солнечной электрической энергии, который оказывает существенное воздействие на работу энергетической системы в диапазоне от 15 минут до 3 часов;
- проблему потери значительного объема генерации в результате непрогнозируемого отказа или нарушения работы сети, воздействие которого длится миллисекунды. В настоящее время европейская континентальная энергетическая система способна справиться с максимальной внезапной потерей генерации на уровне 3000 МВт. Окажется ли этот уровень достаточным для будущего, зависит, например, от максимальной пропускной способности одной линии электропередачи. Скорее всего, максимальная пропускная способность одной линии электропередачи в будущей сети сверхвысокого напряжения HVDC превысит 3000 МВт; поэтому необходимо предусмотреть достаточные резервные генерирующие мощности и/или пропускную способность сети при перепроектировании энергетической системы (такой вариант рассматривается в оценочном докладе путем создания нагрузки в сети сверхвысокого напряжения до максимума в 70%).

Для перепроектировки наземной сети передачи электроэнергии существуют различные технические решения, такие как:

- HVAC (переменный ток высокого напряжения);
- HVDC LCC (система постоянного тока высокого напряжения с использованием преобразователя с линейной коммутацией);
- HVDC VSC (система постоянного тока высокого напряжения с использованием преобразователя напряжения);
- другие технические решения.

7.5. Отопление и охлаждение при помощи технологий возобновляемой энергетики

Человечество имеет давнюю традицию использования возобновляемых источников энергии для отопления и охлаждения. Тепло может поступать от солнца (солнечная тепловая энергия), земли (геотермальная энергия), из окружающей среды и растительного материала (биомасса). Солнечное тепло для процессов сушки и дровяные печи для приготовления пищи используются так давно, что их принято считать «традиционными», однако современные технологии далеко не «старомодные». За последнее десятилетие был усовершенствован целый ряд традиционных технологий, многие из которых уже стали или начинают становиться экономически конкурентоспособными по отношению к технологиям, основанным на ископаемом топливе.

В данном разделе представлен спектр технологий отопления и охлаждения на основе возобновляемых источников энергии, а также приведен краткий обзор самых современных технологий, объединяющих целый ряд поставщиков и потребителей в тепловые сети или даже целые системы теплоснабжения и охлаждения с использованием различных возобновляемых источников энергии. К новым направлениям развития этой технологии относятся отопление/охлаждение помещений и использование промышленного технологического тепла.

7.5.1. Солнечные тепловые технологии

Солнечная тепловая энергия использовалась для производства тепла в течение многих столетий, но приобрела высокую популярность и коммерческое развитие в течение последних тридцати лет. Системы солнечных тепловых коллекторов основаны на многовековом принципе: солнце нагревает воду, содержащуюся внутри сосуда темного цвета.

Предлагаемые технологии эффективны, высоконадежны и обеспечивают энергию, которая находит широкое применение в жилых и коммерческих зданиях, плавательных бассейнах, используется для промышленного технологического тепла, охлаждения, а также опреснения воды.

Несмотря на наличие достаточно разработанных технологий, обеспечивающих горячее водоснабжение и отопление помещений при помощи солнечной энергии, в большинстве стран их использование все еще не стало популярным. Большим шагом в направлении Энергетической [р]волюции является интеграция солнечных тепловых технологий на этапе проектирования зданий или при замене систем отопления (и охлаждения), что позволяет снизить стоимость установки.

Обогрев бассейнов

Обогрев бассейнов может легко осуществляться бесплатно за счет использования коллекторов без стеклянного покрытия для нагрева воды. Они изготавливаются преимущественно из пластика, не имеют изоляции и достигают температуры, которая всего на несколько градусов превышает

температуру окружающей среды. Коллекторы используются для обогрева бассейнов и устанавливаются либо на грунте, либо на крыше близлежащего здания. Вода прокачивается в бассейн непосредственно через коллектор. Размер такой системы зависит от размера бассейна, а также времени года, в котором используется бассейн. Площадь коллектора должна составлять от 50% до 70% от площади поверхности бассейна. Средний размер систем коллекторов без стеклянного покрытия для нагрева воды, устанавливаемых в Европе, составляет около 200 м²¹³⁸.

Системы горячего водоснабжения для бытовых нужд

Наиболее широко солнечная тепловая энергия используется в системах горячего водоснабжения для бытовых нужд. В зависимости от условий и типа системы солнечная энергия может обеспечить большую часть потребления горячей воды в зданиях. Более крупные системы могут дополнительно обеспечивать значительную часть энергии, необходимой для отопления помещений. Существуют два основных типа солнечных коллекторов, они описаны ниже.

Вакуумные трубки

Находящийся в вакуумной трубке поглотитель абсорбирует солнечное излучение и нагревает жидкий теплоноситель внутри трубки. Отражатели, расположенные за трубками, обеспечивают дополнительное излучение. Круглая форма вакуумной трубки обеспечивает попадание солнечного излучения в поглотитель независимо от угла падения солнечных лучей. Коллектор с вакуумными трубками эффективен даже в облачный день при рассеянном свете. Большинство систем солнечных коллекторов, устанавливаемых в мире, относятся к этому типу, особенно на крупнейшем в мире рынке – Китае. Коллекторы этого типа состоят из ряда вакуумных стеклянных трубок, внутри которых находится поглотитель. Вакуумная среда обеспечивает меньшие потери тепла. Рабочая температура этих систем может достигать не менее 120°C. Однако, как правило, коллекторы данного типа используются при температурах в диапазоне от 60°C до 80°C. Вакуумные трубчатые коллекторы более эффективны, чем обычные плоские коллекторы, но, как правило, являются более дорогими.

Плоские панели или плоские солнечные коллекторы

Плоские солнечные коллекторы внешне представляют собой ящик со стеклянным покрытием, который устанавливается на крыше наподобие светового люка. Внутри конструкция оснащена системой медных или алюминиевых трубок, к которым прикреплены медные стенки. Конструкция имеет черный цвет для лучшего поглощения солнечных лучей. Как правило, плоские солнечные коллекторы не являются вакуумными. Они могут достигать температур примерно от 30°C до 80°C¹³⁹ и являются наи-

¹³⁸ (Weiss, W. et al. (2011): Solar heat worldwide - markets and contribution to the energy supply 2009. IEA Solar Heating And Cooling Programme, May 2011. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

¹³⁹ Weiss, W., et al. (2008): Process heat collectors – state of the art. IEA Heating and Cooling Programme and IEA Solarpaces Programme, 2008. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

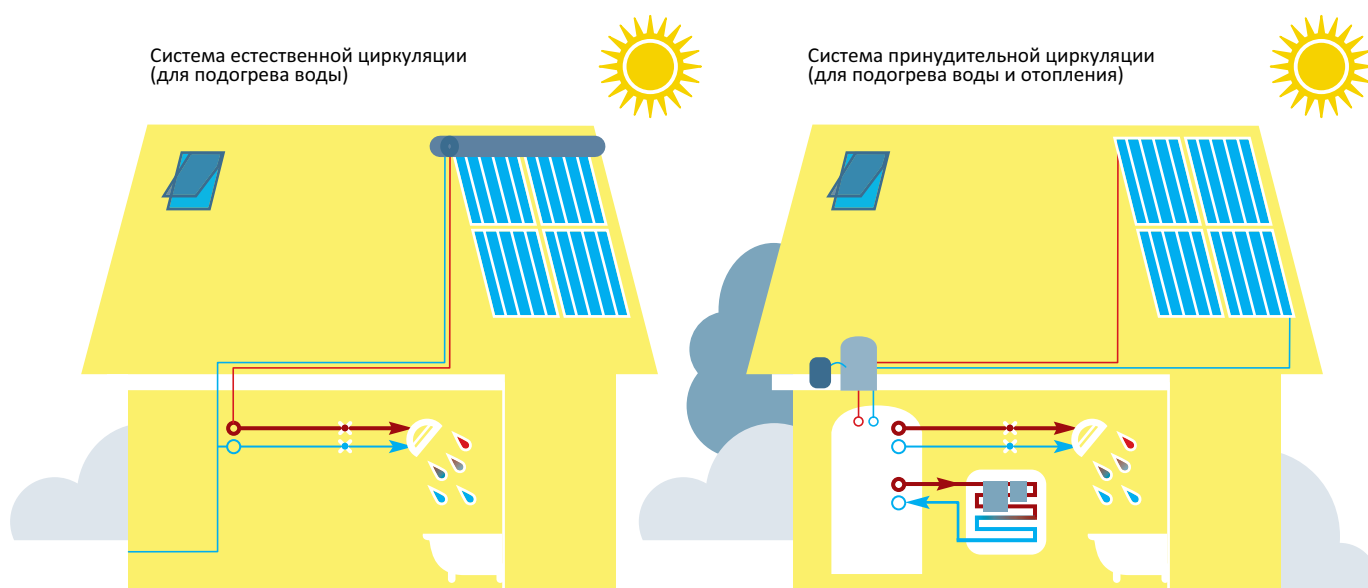
более популярным типом коллекторов в Европе. Существуют два различных способа управления потоком воды в системах солнечных коллекторов, от чего, собственно, зависит стоимость системы в целом (см. рис. 7.12).

Термосифонные системы

Простые термосифонные солнечные тепловые системы используют силу тяжести в качестве естественного способа передачи горячей воды из коллектора в аккумулирующий резервуар. Они не требуют насосной станции или блока управления. Многие из них применяются в качестве независимых систем без теплообменника, что снижает их стоимость. Термосифон является относительно компактным, что делает его установку и обслуживание достаточно простым. Аккумулирующий резервуар термосифонной системы крепится, как правило, непосред-

ственно над коллектором на крыше и подвергается непосредственному воздействию погодных условий. Использование таких систем характерно для регионов с теплым климатом по причине их более низкой эффективности по сравнению с системами принудительной циркуляции. Наиболее распространенными проблемами систем этого типа являются потеря тепла и риск замерзания. Соответственно, они непригодны для использования в регионах, где температура опускается ниже нуля. В странах Южной Европы такая система способна обеспечить почти все потребление горячей воды домохозяйствами. Однако крупнейшим рынком термосифонных систем является Китай. В Европе, например, на термосифонные солнечные системы горячего водоснабжения приходится 95% от общего количества тепловых коллекторов, устанавливаемых домохозяйствами в Греции¹⁴⁰, 25% в Италии и 15% в Испании, согласно данным за 2009 год¹⁴¹.

Рис. 7.12. Системы естественной и принудительной циркуляции



Источник: EPIA (Европейская ассоциация фотоэлектрической промышленности).

Насосные системы

Большинство систем, устанавливаемых в Европе, представляют собой системы принудительной (насосной) циркуляции. Эти системы являются более сложными и дорогими по сравнению с термосифонными системами. Как правило, аккумулирующий резервуар устанавливается внутри дома (например в подвале). Автоматически управляемый насос обеспечивает циркуляцию воды между аккумулирующим резервуаром и коллектором. Системы принудительной циркуляции обычно устанавливаются с теплообменником и, следовательно, являются двухконтурными. Они используются, как правило, в регионах с низкими температурами атмосферного воздуха, поэтому в их солнечный контур необходимо добавлять антифриз, чтобы предотвратить замерзание воды, которое может привести к разрушению коллектора.

Несмотря на то что системы принудительной циркуляции более эффективны, чем термосифонные системы, они в целом не способны полностью обеспечить потре-

бление горячей воды в регионах с холодным климатом и, как правило, совмещаются с резервными системами, такими как тепловые насосы, пеллетные котлы или традиционные газовые и масляные котлы. Доля использования солнечных систем зависит от потребления тепла, температуры атмосферного воздуха и конструкции системы. С учетом текущего развития технологий солнечная энергия обеспечивает сегодня 60% горячего водоснабжения в странах Центральной Европы. Стандартная площадь коллектора, устанавливаемого домохозяйствами в ЕС для обеспечения горячего водоснабжения одноквартирного жилого дома, составляет 3–6 м².

¹⁴⁰ Travasaros, C. (2011): The Greek solar thermal market and industrial applications - overview of the market situation. Greek Solar Industry Association, World sustainable energy days 2011, Wels, 3.3.2011, http://WWW.wsed.at/fileadmin/redakteure/wsed/2011/download_presentations/travasaros.pdf.

¹⁴¹ Weiss, W. et al. (2011): Solar heat worldwide - markets and contribution to the energy supply 2009. IEA Solar Heating And Cooling Programme, May 2011. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

Площадь коллекторов, устанавливаемых в многоквартирных домах или отелях, является гораздо большей и составляет, как правило, 50 м² ^{142 143 144}.

Системы отопления помещений

Кроме систем горячего водоснабжения для бытовых нужд использование солнечной тепловой энергии в системах отопления помещений становится все более популярным в европейских странах. По сути, ЕС является крупнейшим рынком для этой технологии в данный момент, при этом наибольший спрос наблюдается в Германии и Австрии. Однако в этих системах используются такие же коллекторы, что и в системах горячего водоснабжения для бытовых нужд – коллекторы, предназначенные для отопления помещений за счет солнечной энергии, но только насосного типа. Действительно, большинство используемых систем являются так называемыми комбинированными системами, которые обеспечивают как горячее водоснабжение, так и отопление помещений.

Сегодня такие системы устанавливаются преимущественно в многоквартирных жилых домах, и их площадь, как правило, составляет от 6 до 16 м², при этом они обеспечивают около 25% потребности в тепле в странах Центральной Европы.

Солнечные комбинированные системы, предназначенные для многоквартирных домов, используются не очень часто. В странах Центральной Европы площадь таких систем составляет около 50 м² при стоимости одного квадратного метра в пределах 470–550 евро за 1 м². Они обеспечивают потребность в тепле на уровне 25%. Крупные солнечные тепловые системы, подключаемые к местным или районным тепловым системам, с площадью коллектора свыше 500 м² встречаются достаточно редко. Однако начиная с 1985 года количество таких систем, устанавливаемых в ЕС ежегодно, неуклонно растет, стандартно обеспечивая годовую потребность в тепле на уровне 15% в странах Центральной Европы. Для того чтобы доля солнечной энергии в теплообеспечении была существенной, необходим большой аккумулирующий резервуар. Такая система, включая аккумулирующий резервуар, на сегодня может обеспечить около 50% потребности в тепле. Благодаря сезонному аккумулированию эта доля может быть увеличена до 80%. Еще одним видом систем отопления жилых помещений являются воздушные коллекторные системы (не представлены в настоящем документе). Крупнейшие рынки воздушных коллекторов находятся в Северной Америке и Азии. Доля этих систем на европейском рынке очень мала, но на протяжении последних лет растет.

¹⁴² Weiss, W. et al. (2011): Solar heat worldwide - markets and contribution to the energy supply 2009. IEA Solar Heating And Cooling Programme, May 2011. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

¹⁴³ Nitsch, J. et al. (2010): Leitstudie 2010 - Langfristszenarien und strategien für den ausbau der erneuerbaren energien in Deutschland bei berücksichtigung der entwicklung in Europa und global. Stuttgart, Kassel, Teltow, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für Neue Energien (IFNE).

¹⁴⁴ Jager, D. et al. (2011): Financing renewable energy in the European energy market. Brussels, Ecofys nl, Fraunhofer ISI, TU Vienna EEG, Ernst & Young, European Commission (DG Energy).

Технологическое тепло

Интерес к использованию солнечной энергии для получения промышленного технологического тепла растет, несмотря на определенные существующие сегодня трудности, связанные с ее использованием. Не существует стандартных систем, поскольку производственные процессы часто проектируются согласно индивидуальным требованиям. Кроме того, солнечные тепловые системы, как правило, не способны обеспечить 100% необходимого теплоснабжения в годовом выражении, в связи с чем для промышленного использования необходим еще какой-нибудь другой источник тепла, не связанный с солнечной энергией. В зависимости от необходимого уровня температуры были разработаны различные типы коллекторов, предназначенные для удовлетворения потребностей в технологическом тепле. Плоские или вакуумные трубчатые коллекторы обеспечивают диапазон температур до 80°C. На рынке такие системы предлагаются в большом количестве. Для обеспечения температур от 80°C до 120°C используются высокотехнологичные плоские коллекторы, такие как коллекторы с многослойным стеклянным покрытием, противоотражающим покрытием, вакуумными трубками и инертным газом внутри трубок. Еще одним решением в этой области являются плоские и вакуумные трубчатые коллекторы с составными параболическими концентраторами (СПК). Эти коллекторы могут быть стационарными и сооружаются, как правило, для увеличения концентрации солнечного излучения на один или два порядка. Они могут использовать даже самое рассеянное солнечное излучение, что делает их использование особенно привлекательным в регионах с незначительным прямым солнечным излучением.

Существует несколько концептуальных проектов, которые позволяют достигать более высоких температур – в диапазоне от 80°C до 180°C, в основном за счет использования параболического цилиндра или коллекторов солнечного излучения на основе линейного концентратора, в которых используются линзы Френеля. Коллекторы этого типа имеют более высокий коэффициент концентрации, чем коллекторы с СПК, могут использовать только прямое солнечное излучение и должны устанавливаться совместно с системами слежения за солнцем. Коллекторы, разработанные исключительно для использования тепла, являются наиболее подходящими для температур в диапазоне от 150°C до 250°C¹⁴⁵. Возможность использования воздушных коллекторных систем для технологического тепла ограничена низкими температурами, поэтому они используются преимущественно для сушки (сена и т.д.). В настоящем документе они не рассматриваются.

Охлаждение

Солнечные охлаждающие установки используют тепловую энергию для охлаждения воздуха и/или понижения уровня его влажности аналогично принципу, используемому в холодильниках или традиционных кондиционерах. Эта технология использования солнечной тепловой энергии является оптимальной, поскольку наибольшая потребность в кондиционировании существует, как правило, во время высокой солнечной активности. Солнечные

¹⁴⁵ Weiss, W., et al. (2008): Process heat collectors – state of the art. IEA Heating and Cooling Programme and IEA Solarpaces Programme, 2008. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

охлаждающие установки блестяще себя зарекомендовали. В ближайшее время ожидается широкомасштабное внедрение этих технологий, но сегодня их применение распространено недостаточно широко.

Возможность использования солнечного тепла в этом направлении имеет смысл, поскольку население регионов с теплым климатом нуждается в большем охлаждении для обеспечения комфорта. Системы охлаждения на основе тепловой солнечной энергии, как правило, имеют

конструкцию замкнутой сорбционной системы (см. вставку 7.2). Однако наиболее распространенным типом таких систем является солнечная абсорбционная охлаждающая установка. Рабочая температура системы превышает 80°C, что требует использования вакуумных трубчатых коллекторов, усовершенствованных плоских солнечных коллекторов и сложных параболических концентраторов. «Солнечное поле», необходимое для работы охлаждающей установки, составляет около 4 м² на 1 кВт ее охлаждающей мощности.

Вставка 7.2. Сорбционные охлаждающие установки

Термохимический цикл холодильного агента (сорбция) обеспечивает холод за счет абсорбционного или адсорбционного охлаждения. Абсорбция происходит в результате поглощения газообразного или жидкого вещества другим веществом, например, раствором газа в жидкости. Адсорбция происходит в результате связывания жидкого или газообразного вещества с поверхностью твердого материала. Цикл абсорбционного охлаждения можно представить следующим образом: жидкий хладагент с очень низкой температурой кипения испаряется под низким давлением, отводя тепло из своей среды, и,

таким образом, обеспечивая желаемое охлаждение. Затем происходит поглощение газообразного хладагента жидким растворителем, как правило, водой. Хладагент и растворитель снова разделяются путем добавления (возобновляемого) тепла в систему, используя разные точки кипения. На этом этапе газообразный хладагент конденсируется, высвобождается, и процесс начинается сначала. Тепло, необходимое для этого процесса, может быть получено путем сжигания природного газа, при помощи теплоэлектростанций, солнечных тепловых коллекторов и т. д.

7.5.2. Тепловые насосы

Тепловой насос представляет собой устройство, которое отбирает тепло из одной среды при более низкой температуре и передает его другой среде при более высокой температуре. Таким образом, он позволяет переносить тепло с более низкого на более высокий температурный уровень. Работу теплового насоса можно сравнить с работой водяного насоса, расположенного между двумя водоемами, соединенными друг с другом, но расположенными на разных высотах: вода будет естественным образом вытекать из верхнего бассейна в нижний. Тем не менее воду можно вернуть в верхний бассейн при помощи насоса, который отбирает воду из нижнего бассейна.

Тепловой насос состоит из замкнутого контура, через который протекает специальная жидкость (хладагент). Эта жидкость принимает жидкое или газообразное состояние в зависимости от величин температуры и давления. Конденсатор и испаритель состоят из теплообменников — специальных трубок, контактирующих с рабочими средами (такими как воздух), по которым протекает хладагент. Последние передают тепло на конденсатор (сторона с высокой температурой) и отводят его из испарителя (сторона с низкой температурой). Для работы тепловых насосов требуется электроэнергия. Тепловые насосы повышают эффективность электрического отопления.

Тепловые насосы все чаще используются в жилищном секторе, но также могут использоваться для получения промышленного технологического тепла. Промышленные тепловые насосы (ПТН) предлагают различные возможности для всех видов производственных процессов и операций, а также используют отработанное промышленное тепло в качестве источника, обеспечивают тепло с более высокой температурой для использования в

промышленных процессах, нагрева или прогрева, отопления или охлаждения производственных помещений. Тепловые насосы с рабочей температурой ниже 100°C представляют собой результат новейших технологий, в то время как для создания систем, способных работать при более высокой температуре, необходимы новые исследования и разработки¹⁴⁶.

Тепловые насосы используют цикл охлаждения для обеспечения теплоснабжения, охлаждения и горячего водоснабжения для хозяйственных нужд. Они используют возобновляемую энергию земли, воды и воздуха для передачи тепла от резервуара (окружающей среды) с относительно низкой температурой («источник») в другую систему с желаемым уровнем температуры («приемник»). Тепловые насосы обычно используют два типа холодильных циклов:

1. Компрессорные тепловые насосы, использующие механическую энергию — чаще всего электродвигателей или двигателей внутреннего сгорания — для привода компрессора агрегата. Следовательно, в качестве вспомогательной энергии используется электричество, газ или масло.
2. Тепловые насосы с приводом от теплового двигателя используют тепловую энергию для инициации процесса сорбции — адсорбции либо абсорбции — для обеспечения полезности теплоты окружающей среды. В качестве вспомогательной энергии могут использоваться различные источники: отработанная энергия, энергия биомассы, солнечная тепловая энергия или традиционные виды топлива.

¹⁴⁶ Weiss, W. et al. (2011): Solar heat worldwide - markets and contribution to the energy supply 2009. IEA Solar Heating And Cooling Programme, May 2011. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

Наиболее часто сегодня используются компрессорные тепловые насосы. Однако агрегаты с термальным приводом рассматриваются в качестве перспективной технологии в будущем. Эффективность теплового насоса определяется коэффициентом мощности (КМ) – соотношением между годовым производством полезного тепла и годовым потреблением вспомогательной энергии. В жилом секторе тепловые насосы наиболее эффективно используются с относительно теплыми источниками и низкотемпературными системами, например с целью отопления помещений и горячего водоснабжения для хозяйственных нужд. Менее эффективным их использование является для обеспечения высокотемпературного тепла, кроме того, их нельзя использовать для температуры выше 90°C. Для их применения в промышленных целях можно использовать различные хладагенты, которые позволяют эффективно получать тепло с температурой от 80°C до 90°C. Таким образом, их можно использовать для удовлетворения лишь части энергетических потребностей промышленности.

Как правило, тепловые насосы различают по источнику тепла, который они используют:

- наземные тепловые насосы используют энергию, накапливающуюся в грунте на глубине от приблизительно ста метров от поверхности. Они используются для глубоких скважинных теплообменников (300–3000 м), мелководных скважинных теплообменников (50–250 м) и горизонтальных скважинных теплообменников (глубиной в несколько метров);

- водяные тепловые насосы используются в водоемах (относительно теплых), температура воды в которых составляет около 10°C, таких как колодцы, пруды, реки и моря;
- воздушные тепловые насосы используют в качестве источника тепла атмосферный воздух. Поскольку температура атмосферного воздуха в отопительный сезон является, как правило, меньшей, чем температура почвы и воды, в данном случае использование наземных и водяных тепловых насосов будет более эффективным, чем воздушных тепловых насосов.

Тепловые насосы требуют дополнительной энергии помимо тепла окружающей среды, выделяемого из источника тепла, поэтому экологические преимущества тепловых насосов зависят как от их эффективности, так и от выбросов, связанных с производством рабочей энергии. Если тепловой насос имеет низкий КМ и преимущественно потребляет электрическую энергию, значительная доля которой производится, например, угольными электростанциями, выбросы углекислого газа относительно полезного производства тепла могут быть выше, чем у обычных газоконденсатных котлов. С другой стороны, эффективные тепловые насосы, которые используют «зеленую» электрическую энергию, представляют собой устройства с нулевым уровнем выбросов, которые в значительной степени способствуют сокращению выбросов парниковых газов по сравнению с отопительными системами, основанными на сжигании ископаемого топлива.

Вставка 7.3. Типовые технические характеристики тепловых насосов

Как правило, обеспечивают горячее водоснабжение или отопление помещений невысокой температуры – около 35°C.

Примеры использования: подогреваемый пол/стены.

Стандартный размер для отопления одноквартирного жилого дома.

Цели: приблизительно 5–10 кВт тепловой энергии.

Стандартный размер для отопления крупного офисного здания: >100 кВт тепловой энергии.

Воздушные тепловые насосы не требуют бурения, что существенно снижает стоимость системы по сравнению с другими типами. В случае использования в качестве источника обработанного тепла, выделяемого в процессе сжигания ископаемого топлива, производимое тепло не может считаться возобновляемым – оно становится просто действенным способом более эффективного использования энергии, которая в противном случае была бы потеряна.

Использование тепловых насосов для охлаждения

Реверсивные тепловые насосы могут использоваться как для обогрева, так и для охлаждения. При работе в режиме охлаждения в летний период тепло извлекается из здания и «закачивается» в подземный резервуар, который за счет этого нагревается. Благодаря этому восстанавливается температура теплого резервуара в грунте, которая была использована зимой. Помимо этого, возобновляемое охлаждение также может быть обеспечено при помощи циркуляции охлаждающей жидкости через относительно холодный грунт перед ее подачей в

систему отопления/охлаждения здания («естественное охлаждение»). Однако эта охлаждающая жидкость не должна быть создана на основе химических веществ, таких как гидрофторуглеродов (сильный парниковый газ) или хлорфторуглеродов (озоноразрушающие газы), которые наносят вред верхним слоям атмосферы. В принципе, высокоэнтальпийное геотермальное тепло может обеспечить энергию, необходимую для работы абсорбционного охладителя. Тем не менее в мире используется очень незначительное количество геотермальных абсорбционных охладителей.

7.5.3. Технологии теплоснабжения на основе биомассы

Существует широкий спектр технологий для производства тепла из биомассы – источника традиционного топлива. Развитие современных технологий на биомассе обусловлено потребностью в более устойчивом энер-

го снабжении. Большое разнообразие новых, усовершенствованных и комбинированных технологий может удовлетворить потребности в отоплении помещений и горячем водоснабжении и даже, в конечном счете, технологическом тепле для производственных процессов. Биомасса способна обеспечить тепло в большом температурном диапазоне и может транспортироваться на большие расстояния, что является ее преимуществом по сравнению с теплоснабжением на основе солнечной или геотермальной энергии. Однако возможности использования устойчивой биомассы ограничены объемом и расстоянием транспортировки. Еще одним недостатком биоэнергетики являются выбросы выхлопных газов и риск выбросов парниковых газов, которые образуются в результате выращивания энергетических культур. В силу этих обстоятельств возникло два подхода к развитию сектора биоэнергетики:

- создание усовершенствованных относительно небольших децентрализованных систем отопления помещений и горячего водоснабжения;
- развитие различных высокоэффективных и усовершенствованных систем комбинированного производства тепловой и электрической энергии для промышленного и центрального отопления.

Небольшие системы для отопления помещений и горячего водоснабжения зданий

На протяжении последних десятилетий в жилищном секторе произошло существенное усовершенствование систем на основе традиционной биомассы для обеспечения энергоэффективного и комфортного отопления помещений и горячего водоснабжения. Традиционное применение – прямое сжигание твердой биомассы (древесины), например, в хорошо знакомых нам, но усовершенствованных дровяных печах, используемых для отопления отдельных комнат. Отопление помещений и горячее водоснабжение многоквартирных и малоэтажных домов может быть обеспечено при помощи древесных и пеллетных котлов. Дерево удобно перевозить, а стандартизированные качественные пеллетные системы могут быть автоматизированы по всей цепочке; количество пополнений запасов энергоресурсов может быть уменьшено до нескольких раз в год. Системы с автоматической подачей топлива гораздо эффективнее адаптируются к изменениям в потреблении тепла, например, весной и осенью. Еще одним преимуществом пеллетных установок является меньшее (по сравнению с древесными котлами) количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу¹⁴⁷. Пеллетные системы отопления становятся все более распространенными в Европе.

Системы с ручной загрузкой топлива обычно применяются в малых установках мощностью до 50 кВт. Малые установки для отопления отдельных комнат (мощностью около 5 кВт), как правило, представляют собой дровяные печи с ручной загрузкой топлива, характеризующиеся низкой стоимостью и довольно низкой эффективностью. Существуют технологии центрального отопления многоквартирных и двухквартирных домов,

которые также могут быть использованы для многоквартирных комплексов. Дровяные котлы (с типичной мощностью от 10 до 50 кВт) обеспечивают более качественное сжигание с рабочей эффективностью на уровне 70–85%, а также производят меньшее количество выбросов, чем печи, тепловая мощность которых колеблется от 10 до 50 кВт^{148 149 150}.

Большие дровяные котлы могут использоваться для отопления и горячего водоснабжения больших зданий, таких как многоквартирные дома, офисные здания, а также другие крупные служебные, торговые и промышленные здания.

Технологии прямого отопления

Масштабное использование биомассы для нужд центрального отопления и производства технологического тепла зависит от автоматизированных систем подачи топлива с учетом того, что потребление тепла осуществляется постоянно при определенной температуре. Прямое сжигание биомассы может обеспечить температуры до 1000°C, более высоких температур можно достичь при помощи сжигания древесины, в то время как сжигание соломы позволяет получать более низкие температуры. Системы автоматической подачи топлива предлагают возможность использования древесной стружки, пеллет и соломы. Существует три вида технологий сжигания¹⁵¹:

Технологии когенерации

Когенерация увеличивает эффективность использования биомассы, если производимое тепло используется эффективно. Размер установок ограничен небольшой калорийностью биомассы по сравнению с ископаемым топливом, а также трудностями логистического характера, возникающими в связи с этим. Выбор технологии когенерации зависит от имеющейся биомассы. В некоторых скандинавских странах, которые располагают чрезвычайно высоким потенциалом лесной биомассы, твердая биомасса уже сегодня является основным видом топлива для когенерации. В Финляндии, биомасса составляет более 30% от всего топлива, используемого на когенерационных установках, а в Швеции – 70%¹⁵².

Технологии прямого сжигания

Технологии когенерации могут быть основаны на нескольких видах прямого сжигания (сжигание в неподвижном слое, сжигание в кипящем слое и сжигание в пылевидном состоянии). Используются паровые дви-

¹⁴⁸ Nitsch, J. et al. (2010): Leitstudie 2010 – Langfristszenarien und strategien für den ausbau der erneuerbaren energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und Global. Stuttgart, Kassel, Teltow, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für Neue Energien (IFNE).

¹⁴⁹ Gemis (2011): Globales emissions-modell integrierter systeme (Gemis), version 4.6, Öko-Institut.

¹⁵⁰ AEBIOM (2011b): Review of investment cost data for biomass heating technologies. G. A. Center. Brussels.

¹⁵¹ Kaltschmitt, M. et al., eds. (2009): Energie aus biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin, Heidelberg, Springer.

¹⁵² IEA (2011b): Cogeneration and renewables. International Energy Agency (IEA), Paris, France.

¹⁴⁷ Gemis (2011): Globales emissions-modell integrierter systeme (Gemis), version 4.6, Öko-Institut.

гатели мощностью от 50 кВт, электрические паровые турбины – более 2 МВт (эл.), а также специальные установки мощностью от 0,5 МВт (эл.). Обычно тепло генерируется с эффективностью 60-70% в зависимости от эффективности процесса производства электроэнергии, которая в сумме может составлять до 90%¹⁵³. Таким образом, малые и средние когенерационные установки производят тепловой энергии в три-пять раз больше, чем электрической, причем местное теплотребление часто выступает фактором, ограничивающим размеры электростанции.

Улучшенная биомасса

Существуют различные технологии переработки, позволяющие улучшить качество биомассы для некоторых особых видов ее применения, а также для ее применения при более высоких температурах. Наиболее распространенными технологиями сегодня являются производство (улучшенного) биогаза и газификация. Развиваются другие технологии, такие как пиролиз и производство синтетических газов и масел.

Газификация особенно эффективна в случае использования биомассы с низкой калорийностью и влажной биомассы. Частичное окисление биотоплива способствует выделению горючей газовой смеси, которая главным образом состоит из оксида углерода (CO). Газификация может обеспечить более высокую энергоэффективность по всей цепочке использования биомассы при условии дополнительных инвестиций в эту сложную технологию. Существует множество различных систем газификации, основанных на различных принципах подачи топлива, технологиях как собственно газификации, так и комбинированных технологиях с использованием газовых турбин. Согласно данным, имеющимся в специализированной литературе, существует широкий диапазон цен на эти технологии.

К другим технологиям улучшения качества биомассы относятся очистение биогаза для его закачки в систему трубопроводов с природным газом и производство жидких видов биотоплива, таких как растительное масло, этанол или топлива второго поколения. Эти технологии являются взаимозаменяемыми с технологиями на ископаемых видах топлива, но низкая эффективность процесса в целом и энергозатраты, необходимые для выращивания энергетических культур, делают их непривлекательными с точки зрения устойчивого развития.

7.5.4. Биогаз

В биогазовых установках применяется анаэробное расщепление с помощью бактерий для преобразования различных субстратов биомассы в биогаз. Этот газ в основном состоит из метана (газ с высокой калорийностью), CO₂ и воды. Анаэробное расщепление может использоваться для улучшения органических веществ с низкой энергетической плотностью, таких как органические отходы и навоз. Эти субстраты, как правило, содержат большое количество воды и имеют жидкую форму. «Сухие» субстраты нуждаются в дополнительной воде.

¹⁵³ Kaltschmitt, M. et al., eds. (2009): *Energie aus biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin, Heidelberg, Springer.

Жидкие остатки, такие как отходы и экскременты, в энергетических целях не используются. Их тепловой потенциал используется путем производства биогаза. Остатки процесса переработки применяются в качестве удобрений, которые содержат большое количество азота и более ценны, чем исходные субстраты¹⁵⁴.

Метан – сильный парниковый газ, поэтому для обеспечения низкого уровня выбросов при переработке биомассы биогазовые установки должны быть герметичны¹⁵⁵. Для производства биогаза предпочтительнее использовать остатки и отходы, а не энергетические культуры (такие как кукурузный силос), выращивание которых энергозатратно и требует использования удобрений, что, соответственно, приводит к образованию выбросов парниковых газов.

Биогазовые установки обычно состоят из биореактора, предназначенного для производства биогаза, и когенерационной установки. Установки различаются по размеру и, как правило, в них подается смесь субстратов, например навоза, смешанного с кукурузным силосом, силосом из злаковых культур, другими энергетическими культурами и/или органическими отходами¹⁵⁶.

Как правило, биогаз используется для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. В Германии, где применяются стимулирующие тарифы для ВИЭ на поставку электроэнергии в сеть, биогаз производится в основном для получения электрической энергии. Большинство биогазовых установок расположены на фермах в сельской местности. Малые биогазовые установки часто используют полученное тепло для местного обогрева помещений и технологического тепла, например, для процессов сушки. Крупные биогазовые установки нуждаются в доступе к теплосети, чтобы эффективно использовать все имеющееся тепло. Однако доступ к сети в сельских районах зачастую отсутствует, поэтому остается большой неиспользованный потенциал потребления тепла, полученного из биогаза. Результаты мониторинга биогазовых установок в Германии указывают на то, что 50% доступного тепла фактически тратилось впустую¹⁵⁷. Технологии очистки и обогащения биогаза с последующей передачей в газовую сеть в последнее время получили определенное развитие и должны сделать возможным использование биогаза непосредственно в месте теплотребления.

¹⁵⁴ Kaltschmitt, M. et al., eds. (2009): *Energie aus biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin, Heidelberg, Springer.

¹⁵⁵ Pehnt, M. et al. (2007): *Biomasse und effizienz – vorschläge zur erhöhung der energieeffizienz von §8 und §7-anlagen im erneuerbare-energien-gesetz*. Arbeitspapier nr. 1 im rahmen des projektes "Energiebalance – optimale systemlösungen für erneuerbare energien und energieeffizienz". Heidelberg, Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU).

¹⁵⁶ IEA (2007): *Renewables for heating and cooling*. International Energy Agency (IEA), Paris, France. Nitsch, J. et al. (2010): *Leitstudie 2010 - langfristszenarien und strategien für den ausbau der erneuerbare energien in Deutschland bei berücksichtigung der entwicklung in Europa und global*. Stuttgart, Kassel, Teltow, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für Neue Energien (IFNE).

¹⁵⁷ DBFZ (2010): *Monitoring zur wirkung des erneuerbare-energien-gesetzes (EEG) auf die entwicklung der stromerzeugung aus biomasse (unveröffentlichter entwurf)*. Leipzig, Deutsches Biomasseforschungszentrum.

Усовершенствование технологий для использования биомассы несет в себе риск увеличения выбросов метана, поэтому для обеспечения реального сокращения выбросов парниковых газов необходимо внедрить жесткие стандарты относительно допустимого уровня выбросов¹⁵⁸.

7.5.5. Технологии хранения энергии

Поскольку во всем мире доля электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников, растет, также набирает обороты развитие технологий и инструментов государственной политики для решения проблем, связанных с переменным характером ВИЭ. Наряду с решениями, касающимися энергосетей и прогнозирования, аккумуляция энергии является ключевым компонентом Энергетической [р]еволюции.

После того как доля электроэнергии, получаемой из переменных возобновляемых источников, превысит 30-35%, возникнет необходимость в хранении энергии, чтобы компенсировать дефицит генерирования или аккумулировать возможную избыточную электроэнергию, произведенную в ветреную и солнечную погоду. На сегодняшний день технологии аккумуляции энергии охватывают различные этапы и масштабы проектов. Кроме того, существуют технологии как краткосрочной, так и долгосрочной аккумуляции энергии. Технологии краткосрочной аккумуляции могут компенсировать колебания при генерации энергии, которые длятся всего лишь несколько часов, в то время как технологии длительной или сезонной аккумуляции могут покрывать дефицит генерации электроэнергии на протяжении нескольких недель.

К краткосрочным решениям относятся аккумуляторы, маховики (для накопления механической энергии), электростанции на сжатом воздухе и гидроаккумулирующие электростанции с высоким КПД. Последние также используются для долгосрочной аккумуляции энергии. Возможно, наиболее перспективным из всех этих вариантов являются электромобили (ЭМ) с возможностью подключения к сети (V2G), которые могут повысить гибкость энергосистемы, заряжаясь при избыточной генерации от объектов на ВИЭ и отдавая энергию при стоянке, с целью обеспечить пиковую мощность или предоставить дополнительные услуги для энергосистемы. Транспортные средства часто припаркованы рядом с основными центрами нагрузки и во время максимальной нагрузки энергосистемы (например, за пределами производств), и это позволило бы решить проблему перебоев в сети. Тем не менее стоимость аккумуляторов сегодня очень высока, к тому же остаются нерешенными существенные логистические проблемы.

Технологии сезонной аккумуляции энергии включают в себя гидроаккумулирование, а также производство водорода или возобновляемого метана. Если последние два типа в настоящее время находятся на стадии

развития (реализуется несколько демонстрационных проектов, преимущественно в Германии), то гидроаккумулирование используется во всем мире уже более ста лет.

Гидроаккумулирование

Гидроаккумулирование является сегодня крупнейшей формой накопления сетевой электроэнергии, а также самой важной технологией для балансирования ветровых и солнечных электростанций, когда их доля в энергобалансе значительно возрастет. Эта технология гидроэлектроэнергетики предусматривает аккумуляцию энергии за счет перекачивания воды из нижнего бассейна в верхний во время внепиковой нагрузки и высвобождает ее при помощи турбин в моменты пикового потребления. Несмотря на то что гидроаккумулирование сегодня наиболее эффективное с экономической точки зрения решение для оперативного накопления больших объемов электрической энергии, критически важными факторами для принятия решений при строительстве новой инфраструктуры является высокая стоимость таких объектов и соответствующие географические условия. С учетом потерь, связанных с процессом перекачки и хранения воды, такие электростанции являются нетто-потребителями энергии; принимая во внимание потери на испарение и преобразование, приблизительно 70-85% электрической энергии, используемой для перекачивания воды в верхний резервуар, можно компенсировать при ее высвобождении.

Возобновляемый метан

Как газовые, так и когенерационные установки могут быть переоборудованы для работы на возобновляемом метане, который можно получить с помощью возобновляемой электроэнергии и использовать для эффективного хранения энергии, производимой при помощи солнечного излучения и ветра. Возобновляемый метан можно хранить и транспортировать при помощи существующей инфраструктуры природного газа, а также при необходимости использовать его для обеспечения электроснабжения. Потенциал газохранилищ может покрыть дефицит электроснабжения на срок до двух месяцев, а интеллектуальная связь между энергосетью и газовой сетью может обеспечить стабилизацию электросети. Развитие местных теплосетей на ряду с электро- и газовыми сетями позволило бы использовать электричество, «аккумулированное» в метане, для когенерации с высоким общим коэффициентом эффективности, обеспечивая выработку как тепловой, так и электрической энергии¹⁵⁹ (см. рис. 7.13). В настоящее время в Германии реализуется несколько подобных экспериментальных проектов, мощность которых варьируется от одного до двух мегаватт, но о широком промышленном применении речи пока не идет. Если эти экспериментальные проекты окажутся удачными, данная технология до 2020 года может получить широкое промышленное применение. Однако меры государственной политики, которые способствовали бы промышленному развитию технологий аккумуляции энергии, по-прежнему отсутствуют.

¹⁵⁸ Gärtner, S. et al. (2008): Optimierungen für einen nachhaltigen ausbau der biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, materialband e: ökobilanzen. Heidelberg, Institut für Energie- und Umweltforschung.

¹⁵⁹ (F-IWS 2010) Fraunhofer IWS, Erneuerbares methan kopplung von strom- und gasnetz. M.Sc. Mareike Jentsch, Dr. Michael Sterner (IWES), Dr. Michael Specht (ZSW), tu Chemnitz, Speicherworkshop Chemnitz, 28.10.2010.

Рис. 7.13. Производство метана из возобновляемой электроэнергии

Аккумуляция электроэнергии из ВИЭ в качестве природного газа с помощью соединения сетей электроснабжения и газораспределительных сетей.



Источник: Fraunhofer Institut, 2010.

Аккумуляция энергии с помощью батарей

На рынке существует множество типов аккумуляторных батарей. Увеличение спроса на электромобили способствовало существенному развитию на протяжении последнего десятилетия технологий производства аккумуляторных батарей. В настоящее время особое внимание уделяется литиевым батареям, к тому же литий-металлические и литий-ионные батареи большой емкости (ЛИБ), а также разработки меньшей емкости, такие как аккумуляторы PowerWall компании Tesla, будут все больше и больше дополнять производство возобновляемой электроэнергии. Кроме того, продолжают развиваться портативные устройства хранения энергии, которые лежат в основе не только перспективных приводных систем, таких как транспортные средства с гибридным приводом и все автомобили с электрическим приводом, но также технологий хранения водорода и топливных элементов. Системы хранения энергии с использованием аккумуляторных батарей, таких как литий-серные и литий-воздушные аккумуляторы, имеют большой потенциал и могут достичь максимальных значений емкости и энергетической плотности (DLR-Wagner)¹⁶⁰. В мире значительно

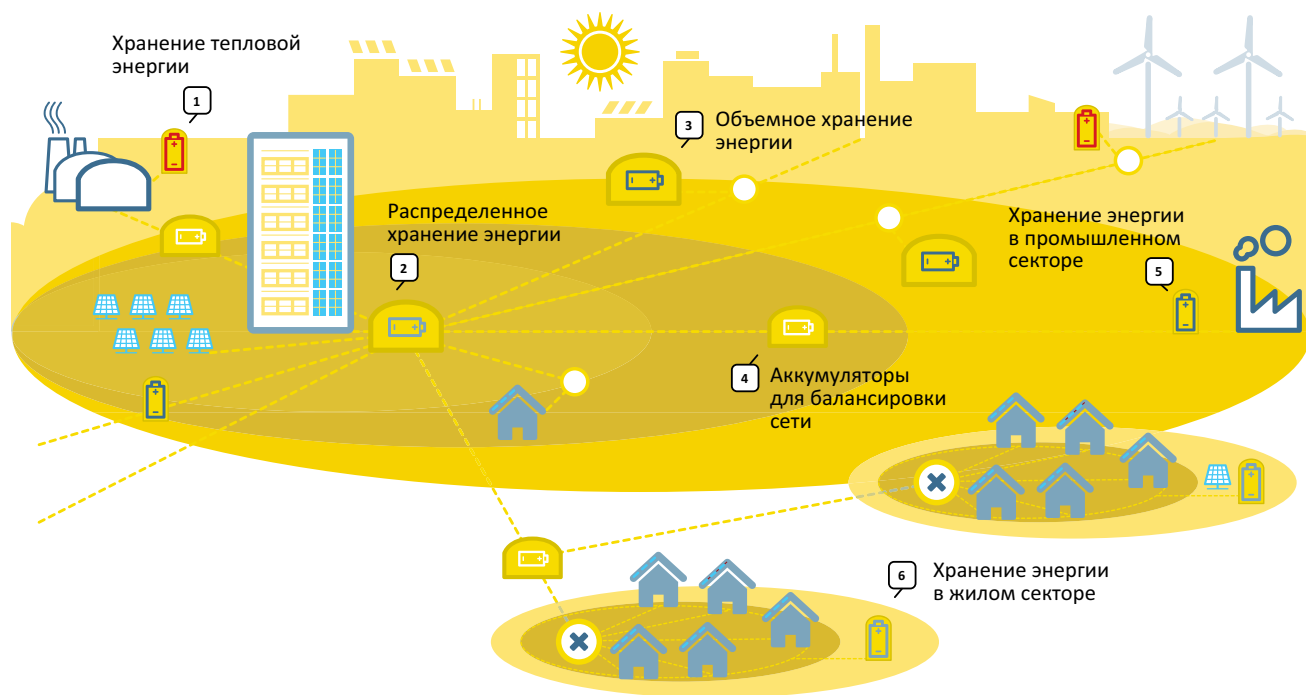
¹⁶⁰ (DLR-Wagner 2015) Dr. Rer.Nat. Norbert Wagner; <http://www.dlr.de/tt/en/desktopdefault.aspx/tabid-7197>

возросло количество разработок и исследований, решающих задачи надежности и безопасности аккумуляторных батарей, а также снижения их стоимости частично за счет экономии на масштабе. Многие эксперты в области энергетики рассматривают использование новых технологий аккумуляторных батарей в сочетании с производством дешевой солнечной электроэнергии как потенциальную революционную технологию, которая может кардинально изменить будущие энергетические рынки.

Технологии аккумуляции: каскадный подход

Не существует универсальной технологии хранения энергии. По всей цепочке энергопотребления и энергоснабжения необходимы различные технологии аккумуляции энергии для удовлетворения конкретных потребностей относительно времени хранения – от вторичных резервов, необходимых для регулирования частоты, до сезонного хранения на протяжении нескольких месяцев. Чтобы обеспечить локальную интеграцию объектов электрогенерации на ВИЭ в распределительные сети, необходим целый каскад различных технологий аккумуляции энергии. На рис. 7.14 продемонстрирован полный спектр технологий аккумуляции энергии.

Рис. 7.14. Возможные локации и технологии аккумуляции электроэнергии в энергосистеме



Источник: IRENA – storage 2015¹⁶¹.

¹⁶¹ (IRENA – storage 2015) Renewables and electricity storage – a technology roadmap; International Renewable Energy Agency (IRENA) IRENA Innovation and Technology Centre; Robert-Schuman-Platz 3; 53175 Bonn; Germany; June 2015.



Выводы

Моделирование амбициозного сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси принесло вдохновляющие результаты, которые свидетельствуют о том, что переход к энергетической системе с высокой долей возобновляемых источников энергии является реалистичным и принесет также множество экологических и экономических выгод для населения Беларуси. В частности, система энергообеспечения на основе преимущественно местных возобновляемых источников энергии будет гарантировать энергетическую безопасность, что является одной из основных целей действующей энергетической политики правительства Беларуси. Переход к возобновляемым источникам энергии также позволит снизить себестоимость производства электроэнергии сразу же после 2020 года, что позволит поставлять электроэнергию населению по более низким тарифам, чем при традиционной структуре энергогенерации. Более того, сценарий Энергетической [р]еволюции демонстрирует потенциал возможного усиления климатической политики Беларуси, что поспособствует привлечению инвестиций, необходимых для перехода к использованию возобновляемых источников энергии.

Безусловно, воплощение в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции потребует значительных инвестиций и работы государственных институций, но поддержание традиционной энергетической системы также требует значительных капитальных затрат и расходов на топливо (даже без учета влияния ископаемых видов топлива на окружающую среду и здоровье людей), что следует учесть при принятии решения. Фактически результаты данного исследования демонстрируют, что экономия на стоимости топлива согласно сценарию Энергетической [р]еволюции значительно превышает размер необходимых инвестиций для воплощения этого сценария в жизнь.

Ниже представлены основные цифры и конкретные результаты моделирования в рамках Базового сценария и сценария Энергетической [р]еволюции для Беларуси:

- Согласно Базовому сценарию, общее конечное потребление энергии, составляющее в настоящее время 710 ПДж в год, увеличится на 42% до 1 010 ПДж в год в 2050 году. **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, конечное потребление энергии сократится на 24% от текущего уровня до 540 ПДж в год к 2050 году** благодаря амбициозным инструментам энергетической политики.
- Сценарий Энергетической [р]еволюции предполагает, что общее потребление электроэнергии увеличится примерно с 30 ТВт·ч в год до 61 ТВт·ч в год к 2050 году в связи с ростом экономики, повышением уровня жизни и электрификацией транспортного сектора и теплоэнергетики. Однако **меры по повышению энергоэффективности промышленности, коммунального сектора и сферы услуг позволят избежать генерации около 20 ТВт·ч в год по сравнению с Базовым сценарием.**
- Повышение энергоэффективности в теплоэнергетическом секторе будет еще большим, чем в электроэнергетическом. Сценарий Энергетической [р]еволюции позволяет сократить потребление примерно до 300 ПДж в год за счет повышения уровня энергоэффективности к 2050 году по сравнению с Базовым сценарием.
- Развитие сектора электроснабжения характеризуется динамичным развитием рынка ветровой и солнечной энергии, которое с лихвой компенсирует отказ от атомной энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции. **К 2050 году 92% электроэнергии, производимой в Беларуси, будет приходиться на возобновляемые источники энергии согласно сценарию Энергетической [р]еволюции.** Установленные мощности возобновляемых источников энергии составят около 9 ГВт к 2030 году и 50 ГВт к 2050 году.
- Сценарий Энергетической [р]еволюции приведет к увеличению доли переменных источников производства электроэнергии (солнечная и ветровая энергия) до 29% уже к 2030 году и 77% от общего объема производства к 2050 году. Таким образом, необходимо развивать «умные» сети электроснабжения (smart grid), управление спросом (demand side management), энергоаккумулирующие мощности и другие решения для того, чтобы увеличить гибкость энергетической системы для интеграции электросетей, обеспечения сбалансированности нагрузки и надежного энергообеспечения.
- Внедрение технологий возобновляемой энергии в рамках сценария Энергетической [р]еволюции изначально приведет к незначительному увеличению будущей себестоимости производства электроэнергии по сравнению с Базовым сценарием (0,1 цента США за 1 кВт·ч без учета стоимости интеграции в электросеть аккумулирующих мощностей и прочих мер для балансирования нагрузки). **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, производство электроэнергии станет экономически более выгодным сразу после 2020 года в результате повышения цен на традиционные виды топлива и снижения стоимости переменных возобновляемых источников энергии.** К 2050 году стоимость производства электроэнергии будет на 1,9 цента США за 1 кВт·ч меньше для сценария Энергетической [р]еволюции, чем для Базового сценария.
- **Для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции необходимо около 90 млрд долл. США инвестиций** (включая средства на замену оборудования электростанций после завершения экономически обоснованного срока их эксплуатации), что составляет приблизительно 2 млрд долл. США в год. Это на 60 млрд долл. США больше, чем объем инвестиций, предусмотренный Базовым сценарием (30 млрд долл. США).
- **Однако экономия за счет стоимости топлива по сценарию Энергетической [р]еволюции к 2050 году достигнет 63 млрд долл. США, или 1,6 млрд долл. США в год.** Таким образом, совокупная экономия за счет стоимости топлива покрывает дополнительные инвестиции, необходимые на развитие ВИЭ по сравнению с Базовым сценарием.
- В настоящее время за счет возобновляемых источников энергии обеспечивается около 10% потребности Беларуси в тепловой энергии, преимущественно за счет использования биомассы. Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, возобновляемые источники смогут обеспечить 33% от общего теплоспотре-

бления Беларуси уже в 2030 году и будут обеспечивать 80% от общего объема теплоснабжения в 2050 году. **За счет мер по повышению энергоэффективности можно снизить растущее сегодня потребление тепловой энергии на 45% к 2050 году** (по сравнению с Базовым сценарием), при этом повышая уровень жизни и увеличивая экономический рост.

- По приблизительным оценкам, для реализации сценария Энергетической [р]еволюции до 2050 года в совокупности понадобится около 33 млрд долл. США инвестиций в возобновляемые теплоэнергетические технологии (включая средства на замену установок после завершения экономически обоснованного срока их эксплуатации), или около 1 млрд долл. США в год.
- Согласно Базовому сценарию, в связи с уменьшением количества населения, ростом ВВП и повышением уровня жизни ожидается лишь незначительное увеличение потребления энергии транспортным сектором – приблизительно на 33% до 230 ПДж в год в 2050 году. **Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции, меры по повышению энергоэффективности и перераспределение перевозок по видам транспорта позволят достичь экономии на уровне 45% (103 ПДж в год) в 2050 году по сравнению с Базовым сценарием.**

- Согласно сценарию Энергетической [р]еволюции к 2030 году электричество будет обеспечивать 8% от общего потребления энергии транспортным сектором, а в 2050 году – 48%.
- Общее потребление первичной энергии сократится на 33% от текущего уровня 1 010 ПДж в год до примерно 680 ПДж в год. По сравнению с Базовым сценарием общее потребление первичной энергии уменьшится на 50% в 2050 году согласно сценарию Э[Р]. Общая доля возобновляемой первичной энергии составит 27% в 2030 году и 80% в 2050 году согласно сценарию Э[Р]. **В конечном потреблении энергии доля возобновляемых источников увеличивается с 6,8% в 2014 году до 80,5% в 2050 году.**
- Согласно Базовому сценарию выбросы CO₂ в Беларуси увеличатся на 13% в период с 2014 по 2050 годы, **в то время как согласно сценарию Энергетической [р]еволюции к 2050 году они сократятся с 55 млн т в 2014 году до 8 млн т в 2050 году и будут на 93% ниже аналогичных показателей 1990 года.** Годовой объем выбросов на душу населения снизится с 5,8 т до 0,9 т.



Фото: ©flickr.com - James Moran

Приложения

- Генерация электроэнергии и установленные мощности согласно Базовому сценарию
- Теплоснабжение согласно Базовому сценарию
- Потребление первичной энергии согласно Базовому сценарию
- Конечное потребление энергии согласно Базовому сценарию
- Ключевые исходные данные по транспортному сектору
- Конечное потребление энергии в транспортном секторе согласно Базовому сценарию
- Выбросы CO₂ согласно Базовому сценарию
- Генерация электроэнергии и установленные мощности согласно сценарию Энергетической [р]еволюции
- Теплоснабжение согласно сценарию Энергетической [р]еволюции
- Потребление первичной энергии согласно сценарию Энергетической [р]еволюции
- Конечное потребление энергии согласно сценарию Энергетической [р]еволюции
- Конечное потребление энергии в транспортном секторе согласно сценарию Энергетической [р]еволюции
- Выбросы CO₂ согласно сценарию Энергетической [р]еволюции



Фото: ©Сергей Кравченко

Приложение 1. Генерация электроэнергии согласно Базовому сценарию (ТВт·ч в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Электростанции	14	22	29	33	36	39	39	39
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	14	13	9	12	15	18	18	18
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомные	0	7	18	18	18	18	18	18
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Гидро	0	1	1	1	1	1	1	1
Ветровые	0	0	1	1	1	1	1	1
Солнечные	0	0	1	1	1	1	1	1
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Когенерационные установки	21	21	15	15	16	17	19	21
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	20	20	14	14	15	17	18	20
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Водородные	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	35	42	44	48	52	56	59	61
Ископаемые виды топлива	34	34	24	27	31	35	37	39
Каменный уголь и невозобновляемые отходы	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнит	0	0	0	0	0	0	0	0
Газ	34	33	23	27	31	35	37	38
Нефть	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельное топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомная энергия	0	7	18	18	18	18	18	18
Возобновляемые источники (без возобновляемого водорода)	0	1	2	3	3	3	4	4
Гидроэлектростанции	0	1	1	1	1	1	1	1
Ветровые электростанции	0	0	1	1	1	1	1	1
Солнечные электростанции	0	0	1	1	1	1	1	1
Электростанции на биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	1	1	1	1	1
Геотермальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Импорт	8	3	4	4	4	4	4	4
Импорт возобновляемой электрической энергии	0	0	0	0	0	0	0	0
Экспорт	4	4	4	4	4	4	4	4
Потери при передаче	3	2	2	2	2	2	2	3
Электроэнергия, потребляемая в ходе производства	5	6	6	6	5	5	5	5
Электроэнергия, используемая для производства водорода	0	0	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия, используемая для производства синтетических видов топлива	0	0	0	0	0	0	0	0
Конечное потребление энергии (электроэнергия)	30	33	36	40	44	49	51	53
Переменные ВИЭ (солнечные, ветровые электростанции)	0	1	1	1	2	2	2	2
Доля переменных ВИЭ	0,0%	1,4%	2,8%	3,1%	3,6%	3,6%	3,8%	3,8%
Доля ВИЭ (внутренняя генерация)	0,7%	3,4%	5,2%	5,4%	5,9%	5,9%	6,1%	6,1%

Приложение 2. Установленные мощности согласно Базовому сценарию (ГВт)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Электростанции	4	6	6	7	7	8	9	9
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	4	4	3	3	3	4	4	5
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомные	0	1	2	2	2	2	2	2
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Гидро	0	0	0	0	0	0	0	0
Ветровые	0	0	0	0	0	0	0	1
Солнечные	0	0	1	1	1	1	1	1
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Когенерационные установки	6	6	5	4	4	4	5	5
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	6	6	5	4	3	4	4	5
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Общий объем производства	10	12	11	11	11	12	13	14
Ископаемые виды топлива	10	10	8	7	7	8	9	10
Каменный уголь (включая невозобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнит	0	0	0	0	0	0	0	0
Газ	10	10	8	7	7	7	9	10
Нефть	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельное топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомная энергия	0	1	2	2	2	2	2	2
Возобновляемые виды энергии	0	1	1	1	2	2	2	2
Гидроэлектростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Ветровые электростанции	0	0	0	0	0	0	0	1
Солнечные электростанции	0	0	1	1	1	1	1	1
Электростанции на биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Переменные ВИЭ (солнечные, ветровые электростанции)	0	0	1	1	1	1	2	2
Доля переменных ВИЭ	0,1%	3,4%	7,8%	9,8%	12,0%	12,2%	12,0%	11,4%
Доля ВИЭ (без импорта)	0,7%	5,7%	10,6%	13,1%	15,6%	15,6%	15,2%	14,4%

Приложение 3. Теплоснабжение согласно Базовому сценарию (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Теплоэлектроцентрали	104	129	116	117	120	125	130	135
Ископаемые виды топлива	87	105	93	93	95	98	101	106
Биомасса	17	24	22	24	25	27	29	30
Солнечные коллекторы	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Тепловая энергия, получаемая за счет когенерации^а	151	170	115	112	116	128	141	157
Ископаемые виды топлива	149	167	112	109	111	123	135	150
Биомасса	3	3	3	4	4	5	6	7
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Прямое отопление	186	224	304	330	345	343	345	339
Ископаемые виды топлива	158	186	264	287	299	296	296	288
Биомасса	22	32	34	37	39	41	43	44
Солнечные коллекторы	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Тепловые насосы ^б	0	0	0	0	0	0	0	0
Прямое электрическое отопление	6	6	6	6	6	6	7	7
Общий объем теплоснабжения^в	441	523	535	560	580	596	616	631
Ископаемые виды топлива	393	459	469	489	506	517	532	544
Биомасса	42	58	60	64	69	73	77	80
Солнечные коллекторы	0	0	0	0	0	0	0	0
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Тепловые насосы	0	0	0	0	0	0	0	0
Электрическое отопление	6	6	6	6	6	6	7	7
Доля ВИЭ (включая возобновляемую электроэнергию)	9,6%	11,1%	11,3%	11,6%	11,9%	12,3%	12,6%	12,8%

Примечания:

а – государственные ТЭЦ и автономные производители тепловой энергии;

б – тепло, получаемое за счет энергии окружающей среды и использования электричества;

в – включая технологическое тепло, приготовление пищи.

Приложение 4. Потребление первичной энергии согласно Базовому сценарию (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Всего	1148	1277	1346	1392	1435	1471	1500	1523
Всего, за исключением неэнергетического использования	1008	1117	1186	1232	1275	1311	1340	1363
Ископаемые виды топлива	948	961	907	947	984	1015	1039	1059
Каменный уголь и невозобновляемые отходы	21	20	18	17	16	15	15	14
Лигнит	13	8	7	5	4	4	3	3
Природный газ	652	689	634	673	713	745	766	782
Сырая нефть	262	244	249	251	251	250	254	260
Атомная энергия	0	77	196	196	196	196	196	196
Энергия возобновляемых источников	60	78	83	89	95	100	105	108
Гидроэнергия	0	2	2	2	2	2	2	2
Ветровая	0	1	2	3	3	4	4	4
Солнечная	0	1	2	3	3	4	4	4
Биомассы (включая возобновляемые отходы)	60	74	77	81	86	90	95	98
Геотермальная	0	0	0	0	0	0	0	0
Чистый импорт электроэнергии (конечная энергия)	12	-7	-1	0	0	0	-1	-1
Чистый импорт электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего ВИЭ, включая импорт электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников и синтетического топлива	60	78	83	89	95	100	105	108
Доля ВИЭ, за исключением неэнергетического использования	7,2%	6,4%	6,9%	7,2%	7,4%	7,6%	7,7%	7,8%
Всего, включая чистый импорт электроэнергии и синтетического топлива	1160	1270	1345	1392	1435	1471	1499	1522
в т. ч. в неэнергетических целях	140	160	160	160	160	160	160	160

Приложение 5. Конечное потребление энергии согласно Базовому сценарию (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Всего (в том числе в неэнергетических целях)	852	943	997	1046	1088	1119	1145	1167
Общее потребление энергии^а	712	783	837	886	928	959	985	1007
Транспорт	172	175	187	198	207	214	221	229
Нефтепродукты	148	152	163	172	178	182	185	190
Природный газ	20	18	18	18	18	18	18	18
Биотопливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия	5	5	6	8	11	14	18	21
Возобновляемая электрическая энергия	0	0	0	0	1	1	1	1
Доля ВИЭ в транспортном секторе	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%
Промышленность	189	195	209	222	232	240	248	255
Электроэнергия	46	49	52	56	58	60	62	64
Возобновляемая электрическая энергия	0	2	3	3	3	4	4	4
Централизованное теплоснабжение	63	65	69	74	77	80	82	85
Централизованное теплоснабжение за счет ВИЭ	3	6	8	9	10	10	11	11
Каменный уголь и лигнит	21	19	18	17	16	15	15	14
Нефтепродукты	8	7	8	8	9	9	9	9
Газ	50	53	59	65	70	73	77	80
Солнечная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Биомасса	2	2	2	2	3	3	3	3
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля ВИЭ в промышленности	2,6%	5,1%	6,4%	6,7%	6,9%	6,9%	6,9%	6,8%
Другие отрасли	351	412	441	466	488	504	516	524
Электроэнергия	58	64	71	80	90	101	103	106
Возобновляемая электрическая энергия	0	2	4	4	5	6	6	6
Централизованное теплоснабжение	150	166	106	104	109	124	139	157
Централизованное теплоснабжение за счет ВИЭ	6	16	13	13	14	16	18	20
Каменный уголь и лигнит	8	6	6	5	4	4	3	3
Нефтепродукты	38	35	36	37	38	39	40	40
Газ	70	102	180	196	201	190	182	167
Солнечная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Биомасса	28	40	42	44	46	48	49	50
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля ВИЭ в других отраслях	9,7%	14,0%	13,3%	13,3%	13,5%	13,8%	14,2%	14,5%
Всего ВИЭ	39	68	72	77	83	87	91	95
Доля ВИЭ	5,5%	8,7%	8,6%	8,7%	8,9%	9,1%	9,3%	9,4%
Использование в неэнергетических целях	140	160	160	160	160	160	160	160
Нефть	82	93	93	93	93	93	93	93
Газ	58	66	66	66	66	66	66	66
Уголь	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: а — за исключением тепла, производимого автономными когенерационными установками.

Приложение 6. Ключевые исходные данные по транспортному сектору

	2014	Базовый сценарий		Сценарий Энергетической [р]еволюции:	
		2025	2050	2025	2050
Соотношение между транспортными потоками					
Доля электроэнергии, потребляемой гибридными электромобилями (PC + LDV) (в конечном потреблении энергии)	1,0%	1,0%	1,0%	10,0%	45,0%
Доля автомобильного транспорта (биотопливо + синтетическое топливо)/(дизель + бензин) (PC, LDV, HDV)	0,1%	0,1%	0,1%	7,0%	60,0%
Доля рельсового транспорта, работающего на биотопливе/ синтетическом топливе, по сравнению с дизельным топливом	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	65,0%
Доли рынка по видам транспорта					
Внутренняя авиация	0,5%	0,6%	0,6%	0,6%	0,9%
Трубопроводный транспорт	11,2%	9,6%	7,9%	9,5%	5,6%
Железнодорожный транспорт	7,5%	7,7%	7,3%	8,0%	11,5%
включая:					
электропоезда и т.д.	30,9%	30,2%	31,6%	32,9%	42,1%
дизельные поезда	69,1%	69,8%	68,4%	67,1%	57,9%
Автомобильный транспорт: всего (PC + LDV + HDV)	80,7%	82,0%	84,2%	81,8%	81,9%
включая:					
PC + LDV (от общей доли автомобильного транспорта)	82,1%	81,4%	80,1%	81,4%	80,1%
HDV (от общей доли автомобильного транспорта)	17,9%	18,6%	19,9%	18,6%	19,9%
Автомобильный транспорт: PC + LDV	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
В том числе:					
Электромобили	0,0%	0,6%	9,0%	1,8%	45,0%
Автомобили, работающие на газе	0,3%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
Бензиновые/дизельные автомобили + прочее	99,6%	98,3%	85,9%	86,5%	5,2%
Гибридные автомобили	0,0%	1,0%	5,0%	5,0%	30,0%
Водородные автомобили	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	12,0%
Автомобильный транспорт: HDV	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
В том числе:					
Автомобили, работающие на биотопливе/синтетическом топливе	0,0%	0,1%	0,1%	6,7%	32,1%
Электромобили (троллейкары и т.д.)	2,5%	2,7%	3,7%	3,7%	20,0%
Автомобили, работающие на газе	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	3,5%
Бензиновые/дизельные автомобили + прочее	97,4%	97,1%	96,1%	89,1%	21,4%
Гибридные автомобили	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	11,0%
Водородные автомобили	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	12,0%

Приложение 7. Конечное потребление энергии в транспортном секторе согласно Базовому сценарию (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Автомобильный транспорт	139	142	154	164	173	179	185	192
Ископаемые виды топлива	138	141	152	160	166	169	173	177
Биотопливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Природный газ	0	0	0	0	0	0	0	0
Электричество	1	1	1	4	6	9	12	15
Железнодорожный транспорт	13	14	14	15	15	16	16	17
Ископаемые виды топлива	9	10	10	10	11	11	11	11
Биотопливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Электричество	4	4	4	5	5	5	5	5
Судоходство	0	0	0	0	0	0	0	0
Авиация	1	1	1	1	1	1	1	1
Ископаемые виды топлива	1	1	1	1	1	1	1	1
Биотопливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего (включая трубопроводы)	172	175	187	198	207	214	221	229
Ископаемые виды топлива	148	152	163	172	178	182	185	190
Биотопливо (включая биогаз)	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Природный газ	20	18	18	18	18	18	18	18
Электричество	5	5	6	8	11	14	18	21
Всего ВИЭ	0	0	0	1	1	1	1	1
Доля ВИЭ	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%

Приложение 8. Выбросы CO₂ согласно Базовому сценарию (млн т в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Конденсационные электростанции	6	6	4	5	7	7	7	7
Газовые	6	6	4	5	7	7	7	7
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Теплоэлектростанции	16	15	11	10	11	12	13	14
Газовые	16	15	10	10	11	12	13	14
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Выбросы CO₂ ТЭС и ТЭЦ	22	21	15	16	17	19	20	22
Удельные выбросы CO₂ (г/кВт·ч)								
Без учета тепловой энергии, получаемой за счет ТЭЦ								
удельные выбросы CO ₂ при производстве электроэнергии из ископаемых видов топлива	651	637	619	584	560	550	551	555
удельные выбросы CO ₂ при производстве электроэнергии в целом	647	508	335	332	333	342	348	356
Выбросы CO₂ по секторам	55	55	53	55	58	60	61	62
% от объема выбросов 1990 года (102,2 млн т)	54%	54%	52%	54%	57%	59%	60%	61%
Промышленность ^а	7	9	9	9	9	9	9	9
Другие сектора ^а	8	9	13	14	14	14	13	12
Транспортный сектор	11	11	12	12	13	13	13	14
Производство электроэнергии ^б	20	17	11	12	14	16	18	19
Другие преобразовательные сектора ^а	10	9	8	8	8	8	8	9
Численность населения (млн)	9,5	9,4	9,2	9,0	8,7	8,5	8,3	8,1
Выбросы CO₂ на душу населения (т на душу населения)	5,8	5,9	5,7	6,2	6,6	7,0	7,4	7,7

Примечания:

а – включая автономные когенерационные установки;

б – включая государственные ТЭЦ;

в – централизованное отопление, нефтеперерабатывающие заводы, преобразование угля, транспортировка газа.

Приложение 9. Производство электроэнергии согласно сценарию Э[Р] (ТВт·ч в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Электростанции	14	21	30	37	47	54	63	69
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	14	12	14	14	13	11	8	1,9
в т. ч. H ₂	0	0	0	0	0	0	1	1
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомные	0	7	7	7	7	7	7	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	1	1	2	2	2
Гидро	0	1	1	1	1	1	1	1
Ветровые	0	1	4	12	16	19	26	32
Солнечные	0	0	3	3	9	15	20	33
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Когенерационные установки	21	21	16	15	15	15	15	15
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые	20	20	15	13	12	10	9	6
в т. ч. H ₂	0	0	0	0	0	0	1	1
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	1	1	2	4	5	6	8
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	35	42	46	53	62	69	78	84
Ископаемые виды топлива	34	32	29	27	25	21	16	7
Каменный уголь и невозобновляемые отходы	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнит	0	0	0	0	0	0	0	0
Газ	34	32	29	27	25	21	16	7
Нефть	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельное топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомная энергия	0	7	7	7	7	7	7	0
Водород	0	0	0	0	0	0,2	2	2
в т. ч. возобновляемый H ₂	0	0	0	0	0	0	1	2
Возобновляемые источники (без возобновляемого водорода)	0	2	9	19	30	41	54	75
Гидроэлектростанции	0	1	1	1	1	1	1	1
Ветровые электростанции	0	1	4	12	16	19	26	32
Солнечные электростанции	0	0	3	3	9	15	20	33
Электростанции на биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	1	2	3	5	7	8	10
Геотермальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Импорт	8	3	4	4	4	4	4	4
Импорт ВИЭ	0	1	1	2	2	3	3	4
Экспорт	4	3	4	4	4	4	4	4
Потери при передаче	3	3	4	5	5	6	6	6
Электроэнергия, потребляемая в ходе производства	5	6	5	5	5	4	3	2
Электроэнергия, используемая для производства водорода	0	0	0	0	1	3	10	14
Электроэнергия, используемая для производства синтетических видов топлива	0	0	0	0	0	0	0	0
Конечное потребление энергии (электроэнергия)	30	33	36	43	51	56	59	61
Переменные ВИЭ (солнечные, ветровые электростанции)	0	1	7	15	25	34	46	65
Доля переменных ВИЭ (внутренняя генерация)	0,0%	2,5%	15,5%	28,5%	39,8%	48,8%	58,2%	77,2%
Доля ВИЭ (без импорта)	0,7%	6,0%	20,4%	35,2%	48,3%	59,5%	70,3%	91,9%
Экономия за счет энергоэффективности (по сравнению с Базовым сценарием) ^а	0	0	0	-1	-3	-1	-1	3

Примечание: а – в промышленности и других секторах.

Приложение 10. Установленные мощности согласно сценарию Э[Р] (ГВт)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Электростанции	4	6	10	13	21	27	35	49
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые (включая Н ₂)	4	4	4	4	4	3	3	2
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомные	0	1	1	1	1	1	1	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	0	0	1	1	1
Гидро	0	0	0	0	0	0	0	0
Ветровые	0	0	2	5	6	8	11	14
Солнечные электростанции	0	0	3	3	9	14	19	33
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Когенерационные установки	6	6	5	4	4	5	4	4
Угольные и на невозобновляемых отходах	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнитные	0	0	0	0	0	0	0	0
Газовые (включая Н ₂)	6	6	5	3	3	3	2	2
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
На биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	0	1	1	2	2	3
Геотермальные	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	10	13	15	17	25	32	40	53
Ископаемые виды топлива	10	10	9	7	7	6	5	3
Каменный уголь и невозобновляемые отходы	0	0	0	0	0	0	0	0
Лигнит	0	0	0	0	0	0	0	0
Газ (включая Н ₂)	10	10	9	7	6	6	5	3
Нефть	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельное топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Атомная энергия	0	1	1	1	1	1	1	0
Водород	0	0	0	0	0	0	1	1
Возобновляемые источники	0	1	5	9	17	25	33	50
Гидроэлектростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Ветровые электростанции	0	0	2	5	6	8	11	14
Солнечные электростанции	0	0	3	3	9	14	19	33
Электростанции на биомассе (включая возобновляемые отходы)	0	0	1	1	1	2	2	3
Геотермальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Солнечные термальные электростанции	0	0	0	0	0	0	0	0
Переменные ВИЭ (солнечные, ветровые электростанции)	0	1	5	8	16	22	31	46
Доля переменных ВИЭ	0,1%	4,5%	30,8%	47,2%	63,2%	70,5%	77,2%	86,8%
Доля ВИЭ (внутренняя генерация)	0,7%	8,3%	35,6%	53,5%	69,9%	77,7%	83,8%	93,5%
Покрытие пиковой нагрузки								
Пиковая нагрузка	6	7	8	9	10	10	11	11
Гарантированные мощности	12	10	11	10	11	11	12	12
Доля гарантированных мощностей	208%	149%	147%	109%	116%	107%	117%	111%

Приложение 11. Теплоснабжение согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Теплоэлектростанции	104	124	119	129	106	84	59	38
Ископаемые виды топлива	87	88	82	80	54	30	13	0
Биомасса	17	36	33	41	39	39	30	22
Солнечные коллекторы	0	0	2	5	7	8	9	9
Геотермальная энергия	0	0	1	3	5	7	6	6
Тепловая энергия, получаемая за счет когенерации^а	151	175	155	137	140	136	134	131
Ископаемые виды топлива	149	158	116	105	92	83	75	53
Биомасса	3	17	39	31	47	51	53	66
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Водород	0	0	0	0	0	1	7	13
Прямое отопление	190	210	223	222	214	204	189	176
Ископаемые виды топлива	158	158	155	124	80	54	26	12
Биомасса	22	39	43	49	49	47	43	33
Солнечные коллекторы	0	2	4	12	21	27	33	36
Геотермальная энергия	0	0	0	0	0	0	0	0
Тепловые насосы ^б	0	1	5	11	20	25	29	31
Прямое электрическое отопление	10	10	15	27	44	50	58	63
Водород	0	0	0	0	0	1	1	2
Общий объем теплоснабжения^в	445	509	496	488	459	424	382	345
Ископаемые виды топлива	393	404	353	310	226	168	115	64
Биомасса	42	92	115	121	136	137	126	121
Солнечные коллекторы	0	2	7	17	28	35	41	45
Геотермальная энергия	0	0	1	3	5	7	6	6
Тепловые насосы ^б	0	1	5	11	20	25	29	31
Прямое электрическое отопление	10	10	15	27	44	50	58	63
Водород	0	0	0	0	1	2	8	14
Доля ВИЭ (включая возобновляемую электроэнергию)	9,5%	18,8%	26,7%	33,4%	46,5%	56,2%	65,5%	79,8%
Потребление электрической энергии тепловыми насосами (ТВт·ч в год)	0,0	0,1	0,4	0,8	1,6	1,9	2,0	2,1
Экономия за счет энергоэффективности (по сравнению с Базовым сценарием)	-5	14	39	72	121	172	234	286

Примечания:

а – государственные ТЭЦ и автономные производители;

б – тепло, получаемое за счет энергии окружающей среды и использования электричества;

в – включая технологическое тепло, приготовление пищи.

Приложение 12. Потребление первичной энергии согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Всего	1148	1247	1213	1184	1123	1047	956	807
Всего, за исключением использования в неэнергетических целях	1008	1088	1061	1037	983	911	825	679
Ископаемые виды топлива	948	879	780	683	547	418	287	135
Каменный уголь и невозобновляемые отходы	21	0	0	0	0	0	0	0
Лигнит	13	9	1	0	0	0	0	0
Природный газ	652	652	586	527	424	329	233	115
Сырая нефть	262	219	193	156	123	89	54	20
Атомная энергия	0	77	77	77	77	77	77	0
Энергия возобновляемых источников	60	131	203	276	358	415	461	544
Гидроэнергия	0	2	2	2	2	2	2	2
Ветровая	0	3	14	43	56	69	94	115
Солнечная энергия	0	3	18	28	61	88	112	163
Биомасса (включая возобновляемые отходы)	60	123	163	190	213	224	219	227
Геотермальная энергия	0	1	6	13	25	32	34	36
Чистый импорт электроэнергии (конечная энергия)	12	0	0	0	0	0	0	0
Чистый импорт электроэнергии, получаемой из ВИЭ	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего, включая импорт электроэнергии, получаемой из ВИЭ, и синтетического топлива	60	131	203	276	358	415	461	544
Доля ВИЭ, за исключением использования в неэнергетических целях	7,2%	12,1%	19,1%	26,6%	36,4%	45,6%	55,8%	80,1%
Всего, включая чистый импорт электроэнергии и синтетического топлива	1160	1247	1213	1184	1123	1047	956	807
в т. ч. в неэнергетических целях	140	158	152	147	141	136	131	128
Экономия за счет энергоэффективности (по сравнению с Базовым сценарием)	0	23	133	208	312	424	543	716

Приложение 13. Конечное потребление энергии согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Всего (включая в неэнергетических целях)	852	913	906	892	850	796	726	665
Общее потребление энергии^а	712	755	754	745	709	660	595	537
Транспортный сектор	172	170	170	166	160	148	133	126
Нефтепродукты	148	143	136	119	103	79	49	18
Природный газ	20	18	16	14	12	11	9	7
Биотопливо	0	4	10	18	19	18	22	28
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия	5	5	8	14	22	35	44	60
Возобновляемая электрическая энергия	0	0	2	5	11	21	31	55
Водород	0	0	0	1	3	5	9	12
Доля ВИЭ в транспортном секторе	0,1%	2,5%	6,9%	14,2%	19,5%	28,6%	44,6%	75,1%
Промышленность	189	181	183	183	174	160	145	127
Электроэнергия	46	47	50	54	56	58	59	57
Возобновляемая электрическая энергия	0	3	10	19	27	34	42	52
Централизованное теплоснабжение	63	67	64	64	61	56	50	45
Централизованное теплоснабжение на основе ВИЭ	5	14	20	21	26	28	27	30
Каменный уголь и лигнит	21	0	0	0	0	0	0	0
Нефтепродукты	8	5	8	5	3	2	1	0
Газ	50	53	49	43	30	18	8	1
Солнечная энергия	0	0	1	3	6	8	8	9
Биомасса	2	8	10	14	16	15	14	9
Геотермальная энергия	0	0	0	1	2	3	3	3
Водород	0	0	0	0	0	1	1	2
Доля ВИЭ в промышленности	4,1%	13,9%	22,9%	31,2%	44,9%	55,5%	65,7%	83,1%
Другие сектора	351	403	400	395	375	352	317	284
Электроэнергия	58	65	73	86	104	109	107	103
Возобновляемая электрическая энергия	0	4	15	30	50	65	76	95
Централизованное теплоснабжение	150	163	152	150	138	124	107	91
Централизованное теплоснабжение за счет ВИЭ	13	33	47	49	60	62	58	60
Каменный уголь и лигнит	8	3	0	0	0	0	0	0
Нефтепродукты	38	26	15	9	5	2	1	0
Газ	70	101	108	86	55	41	22	13
Солнечная энергия	0	1	3	9	14	19	24	26
Биомасса	28	43	46	48	45	42	38	31
Геотермальная энергия	0	1	3	7	12	16	18	20
Водород	0	0	0	0	0	0	0	0
Доля ВИЭ в других секторах	11,7%	20,4%	28,4%	36,1%	48,7%	57,7%	67,2%	81,7%
Всего ВИЭ	49	112	167	223	292	334	368	432
Доля ВИЭ	6,8%	14,8%	22,2%	30,0%	41,2%	50,6%	61,8%	80,5%
Использование в неэнергетических целях	140	158	152	147	141	136	131	128
Нефть	82	86	76	68	60	52	46	41
Газ	58	71	75	78	80	83	84	86
Уголь	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: а – за исключением тепла, производимого автономными когенерационными установками.

Приложение 14. Конечное потребление энергии транспортным сектором согласно сценарию Э[Р] (ПДж в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Автомобильный транспорт	139	137	139	136	131	121	108	103
Ископаемые виды топлива	138	133	126	110	95	71	43	15
Биотопливо	0	3	9	16	17	16	18	22
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Природный газ	0	0	0	0	1	1	1	1
Водород	0	0	0	1	3	5	9	12
Электроэнергия	1	1	4	9	16	29	37	53
Железнодорожный транспорт	13	14	14	15	15	15	15	14
Ископаемые виды топлива	9	9	9	8	8	7	5	3
Биотопливо	0	0	0	2	2	3	4	5
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия	4	4	4	5	5	5	6	6
Судоходство	0	0	0	0	0	0	0	0
Авиация	1	1	1	1	1	1	1	1
Ископаемые виды топлива	1	1	1	1	1	1	1	1
Биотопливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего (включая трубопроводы)	172	170	170	166	160	148	133	126
Ископаемые виды топлива	148	143	136	119	103	79	49	18
Биотопливо (включая биогаз)	0	4	10	18	19	18	22	28
Синтетическое топливо	0	0	0	0	0	0	0	0
Природный газ	20	18	16	14	12	11	9	7
Водород	0	0	0	1	3	5	9	12
Электроэнергия	5	5	8	14	22	35	44	60
Всего ВИЭ	0	4	12	24	31	42	59	94
Доля ВИЭ	0,1%	2,5%	6,9%	14,2%	19,5%	28,6%	44,6%	75,1%

Приложение 15. Выбросы CO₂ согласно сценарию Э[Р] (млн т в год)

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Конденсационные электростанции	6	5	6	6	6	4	3	1
Газовые	6	5	6	6	6	4	3	1
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Дизельные	0	0	0	0	0	0	0	0
Когенерационные установки	16	15	11	10	9	8	7	4
Газовые	16	15	11	10	9	8	7	4
Нефтяные	0	0	0	0	0	0	0	0
Выбросы CO₂ ТЭС и ТЭЦ	22	21	17	16	14	12	10	5
Удельные выбросы CO₂ (г/кВт·ч)								
Без учета тепловой энергии, получаемой за счет ТЭЦ								
Удельные выбросы CO ₂ при производстве электроэнергии из ископаемых видов топлива	651	653	596	590	573	582	611	753
Удельные выбросы CO ₂ при производстве электроэнергии в целом	647	502	382	303	231	175	122	60
Выбросы CO₂ по секторам	55	50	44	39	31	24	16	8
% от объема выбросов 1990 года (102 млн т)	54%	49%	43%	38%	31%	23%	16%	7%
Промышленность ^а	7	8	7	5	4	3	2	1
Другие сектора ^а	8	8	7	6	3	2	1	1
Транспортный сектор	11	10	10	9	7	6	4	1
Производство электроэнергии ^б	20	16	14	13	12	10	8	4
Другие перерабатывающие сектора ^в	10	8	7	6	4	3	2	0
Численность населения (млн)	9,5	9,4	9,2	9,0	8,7	8,5	8,3	8,1
Выбросы CO₂ на душу населения (т на душу населения)	5,8	5,3	4,8	4,3	3,6	2,8	2,0	0,9
Экономия за счет энергоэффективности (по сравнению с Базовым сценарием)	0	5	9	17	27	36	45	55

Примечания:

а – включая автономные когенерационные установки;

б – включая государственные ТЭЦ;

в – централизованное отопление, нефтеперерабатывающие заводы, преобразование угля, транспортировка газа.

Исследование «Энергетическая [р]еволюция: перспективы устойчивого развития энергетического сектора Беларуси» выполнено в 2016–2018 годах при поддержке Фонда им. Генриха Белля и в сотрудничестве с организациями гражданского общества, учеными и независимыми экспертами в Беларуси. В докладе представлены результаты моделирования сценария перехода Беларуси к энергетической системе с высокой долей возобновляемой энергетики, а также кратко описаны политические решения и технологии, которые можно использовать уже сегодня для воплощения в жизнь сценария Энергетической [р]еволюции.