

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
университет «Высшая школа экономики»

На правах рукописи

Горлов Анатолий Александрович

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ В СТРАНАХ
БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО МОРЯ**

Специальность 08.00.14 – Мировая экономика

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:

Академик РАН, д.э.н.

Крюков Валерий Анатольевич

Москва – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в мировой экономике на примере стран БСМ	
1.1. Процессы трансформации энергетического сектора мировой экономики и перспективы роста ВИЭ.....	14
1.2. Современное состояние, особенности и тренды энергетического сектора стран БСМ.....	25
1.3. Процессы интеграции, трансформации и замещения в энергетическом секторе мировой экономики на примере стран БСМ	37
Глава 2. Факторы влияния на процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в мировой экономике на примере стран БСМ	
2.1. Факторы влияния первого порядка - государственная энергетическая политика стран БСМ	48
2.2. Факторы влияния второго порядка на трансформацию энергетического сектора стран БСМ.....	63
2.3. Барьеры и неопределенности в процессах замещения энергетического сектора стран БСМ.....	92
Глава 3. Оценки эффективности процесса трансформации энергетического сектора мировой экономики на примере стран БСМ	
3.1. Аналитический факторный подход к оценке динамики и эффективности процессов энергетической трансформации в странах мира	107
3.1.1. Факторы - индикаторы справедливых оценок эффективности процессов трансформации в энергетическом секторе мировой экономики.....	107
3.1.2. Обоснование и апробация аналитического факторного подхода оценки динамики и эффективности процессов замещения в странах мира на примере Германии	113
3.2. Обоснование и апробация эконометрического подхода к оценкам и прогнозам роста возобновляемых ресурсов в странах мира на базе кривых обучения.....	129

3.2.1. Эконометрический подход оценки динамики развития новых технологий ВИЭ на примере морской ветроэнергетики стран БСМ.....	129
3.2.2. Эконометрический подход прогнозных оценок роста возобновляемых ресурсов на примере морской ветроэнергетики стран БСМ	151
3.3. Перспективы повышения эффективности развития рынка ВИЭ в России с учетом опыта стран БСМ	169
Заключение	182
Список литературы	187
Приложения	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Страны бассейна Северного моря (БСМ), к которым относятся Германия, Великобритания, Франция, Дания, Бельгия, Нидерланды и Норвегии, являются лидерами мировой экономики в процессах энергетической трансформации и развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что изначально было направлено на уменьшение зависимости от импорта топливных ресурсов и повышения уровня энергетической безопасности. Благодаря целенаправленной энергетической политике, доля ВИЭ в странах БСМ стала расти быстрыми темпами, и уже в 2015 году ввод мощностей ВИЭ превысил объем ввода традиционных установок. Дополнительное ускорение процессам замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах БСМ обеспечили решения Парижского соглашения по климатической политике и устойчивому развитию, связанные с глобальным потеплением. Стремительное снижение стоимости «зеленой» энергии всё чаще делает более привлекательной альтернативную энергетику. Исследования особенностей процесса замещения в странах БСМ являются актуальными, так как позволяют определить ключевые факторы и важнейшие тренды динамики этого процесса, а также сформулировать теоретически-методические подходы к оценкам и прогнозам замещения, которые могут быть учтены для диверсификации национальных энергетических секторов в мировой экономике. Тема исследований стала актуальна также для России, где в последние годы, благодаря эффективной государственной поддержке, сформировался оптовый рынок ВИЭ, и которая ратифицировала в 2019 году Парижское соглашение. На конференции COP25 (Мадрид, 2019) страны мира разделились на сторонников и противников срочных действий по предотвращению климатической катастрофы. На этом фоне Европейский Союз, во главе со странами БСМ, объявил о своей новой программе «European Green Deal», направленной на сокращение выбросов парниковых газов до 55% к 2030 году и до нуля к 2050 году, а также призвал все страны мира последовать его примеру в течение 2020 года. Это поставило энергетический сектор мировой экономики

перед вызовом необходимости радикальной трансформации, что придает теме исследований особую актуальность.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на то, что возобновляемая энергетика формирует стратегический тренд процесса трансформации энергетического сектора мировой экономики, до настоящего времени нет полного единства научных мнений исследователей относительно теоретических аспектов, касающихся особенностей замещения традиционных источников энергии возобновляемой энергетикой и определяющих ее факторов. Однако, с позиций общей роли и перспектив традиционной и возобновляемой энергетике в мировой экономике необходимо выделить труды ведущих российских и зарубежных ученых, таких как Бушуев В.В., Фортов В.Е., Шпильрайн Э.Э., Волошин В.И., Григорьев Л.М., Телегина Е.А., Митрова Т.А., Попель О.С., Еременко Г.В., Елистратов В.В., Безруких П.П., Крюков В.А., Шафранник Ю.К., Филлипов С.П., Порьфирьев Б.Н., Жуков С.В., Конопляник А.А., Громов А.И., Конторович А.Э., Эдер Л.В., Да Роза А., Дживелл Дж., Шерп А., Рьях К., Твиделл Дж., Джонстоун Н. и другие.

С методической точки зрения процессы замещения традиционных источников энергии возобновляемой энергетикой, как в глобальном, так и в региональном контексте также практически не имеют оптимального набора аналитических, оценочных и прогнозных инструментов. Ряд авторов склоняется к тому, что динамику процессов замещения можно исследовать с использованием эконометрических инструментов (регрессионный анализ, эмпирические корреляции, кривые обучения т.п.), к ним относятся: Джамасб Т., Райт Т., Арроу К., Ромер П., Шедерхольм П., Кохлер Д., Рубин Е., Ратнер С.В. и другие. Целесообразно также использовать финансово-экономические методы для количественной и качественной оценки процессов замещения. В этом направлении можно отметить труды таких российских и зарубежных ученых, как Фюкс Р., Сендеров С.М., Васиков А.Р., Салихов Т.П., Гараев З.В., Терентьев Н.Е., Херцог А., Липман Т., Каммин Д. и другие.

Учитывая, что теоретические и методические аспекты замещения традиционных источников энергии возобновляемой энергетикой требуют дополнения и развития, представляется важным сделать это в рамках данной работы.

Цели и задачи исследования.

Целью диссертационного исследования является выявление особенностей и формирование новых научнообоснованных подходов к оценке динамики и эффективности процесса замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах бассейна Северного моря.

Выдвинутая цель базируется на **научной гипотезе**, что рост возобновляемых технологий носит необратимый характер и уже не зависит только от породивших его причин: климатической политики, стремления снизить зависимость от импорта энергоресурсов, роста цен на углеводороды или прогнозов истощения ископаемого сырья. Новая парадигма энергобезопасности **стран БСМ** будет определяться уже не столько имеющимися или импортируемыми объемами ископаемых ресурсов, сколько наличием собственных технологических прорывов в различных направлениях устойчивой энергетики, комплексно развивающихся вместе с ВИЭ.

В соответствии с обозначенной целью в работе решались следующие взаимосвязанные задачи:

1. Выявление особенностей эволюции энергетического сектора мировой экономики с позиций ведущей роли ВИЭ в процессах накопления ресурсов, интеграции, трансформации и замещения на примере стран БСМ с использованием системного и статистического анализа
2. Выявление и структурирование факторов, влияющих на динамику процесса замещения традиционных источников возобновляемыми в энергетическом секторе мировой экономике на примере стран БСМ;
3. Разработка теоретических и практических аспектов аналитического факторного подхода к оценке эффективности процессов энергетической трансформации в странах мира, апробация подхода на примере Германии;

4. Разработка теоретических и практических аспектов эконометрического подхода к оценке динамики развития новых технологий ВИЭ в странах мира на основе аппарата кривых обучения, апробация подхода на примере развивающихся морских ветровых энергоустановок (ВЭУ) Германии;

5. Разработка теоретических и практических аспектов эконометрического подхода к прогнозным оценкам динамики развития новых технологий ВИЭ в странах мира на основе аппарата кривых обучения, апробация подхода на примере новых и развивающихся технологий морских ВЭУ стран БСМ (Франция, Великобритания, Дания, Бельгия и Нидерланды).

Объектом исследования в данной работе является энергетический сектор стран бассейна Северного моря.

Предметом исследования являются особенности и динамика процесса замещения традиционных источников возобновляемыми в энергетическом секторе стран бассейна Северного моря, а также вероятные сценарии и прогнозы динамики этого процесса на среднесрочную перспективу (до 2030 года).

Описание методологии исследования Методологическая база диссертационной работы представлена совокупностью общих и специальных методов исследования. Среди общих методов исследования необходимо выделить: анализ, синтез, дедукцию и индукцию. Среди специальных методов исследования можно выделить: экономико-статистические, экономико-математические и эконометрические методы исследования, в частности, математический аппарат кривых обучения.

Информационную базу исследования составили актуальные данные и статистика, опубликованные Международным энергетическим агентством (IEA), Международным агентством по возобновляемой энергетике (IRENA), Европейской Комиссией, Всемирным банком (World Bank), Ассоциацией Wind Europe, Ассоциацией REN21, Ассоциацией Ocean Energy Systems, компанией Bloomberg New Energy Finance, инвестиционным банком Lazard и другими организациями. Кроме этого, в работе были использованы данные, опубликованные в зарубежной и российской научной литературе, экономические

исследования ведущих консалтинговых российских и зарубежных компаний, информационных агентств.

Соответствие исследования требованиям паспорта ВАК РФ

Диссертационная работа выполнена в соответствии Паспорта научной специальности 08.00.14 Мировая экономика, отрасли экономические науки, Пункта 16 - Методологические аспекты функционирования мировой экономики. Развитие мировой общехозяйственной и товарной конъюнктуры. Пункта 21 - Развитие ресурсной базы мирового хозяйства. Экономические аспекты глобальных проблем – экологической, продовольственной, энергетической. Мировозхозяйственные последствия глобальных процессов, пути и механизмы их решения.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что на основе комплексного исследования процесса замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками, выявлены особенности государственной политики, факторов влияния и барьеров энергетической трансформации стран бассейна Северного моря и разработаны новые подходы к оценке эффективности и прогнозированию динамики этого процесса.

Наиболее существенные новые результаты исследования, полученные лично автором и выносимые на защиту, заключаются в следующем:

1. На основе выполненного системного исследования эволюции сектора энергетики мировой экономики **выявлены** следующие особенности этого процесса, заключающиеся в том, что: под влиянием научно-технического прогресса он проходит в соответствии с экономической теорией технологических укладов; на каждом новом этапе происходит смена базовых энергетических ресурсов; текущий уклад совпадает по времени и целям с 3-ей промышленной революцией, принятой в качестве базового плана развития экономики ЕС (стран БСМ). **Доказано**, что совместное использование различных технологий ВИЭ и накопителей энергии привело к появлению нового конкурентоспособного вида энергетических ресурсов, который можно хранить, накапливать и транспортировать, который является экологически чистым и постоянно растущим

за счет инновационного энергетического развития, в отличие от неуклонно сокращающихся запасов ископаемых углеводородных ресурсов.

2. Выявлены новые тренды в процессе замещения традиционных источников энергии на ВИЭ в странах бассейна Северного моря, в частности: резкое снижение нормированной стоимости «зеленой» электроэнергии; быстрый рост доли мощности и генерации ВИЭ; значительное уменьшение доли угля, нефти и атома; высокая степень системной и рыночной интеграции ВИЭ в энергосистему стран БСМ; рост масштабов внедрения систем хранения энергии, цифровой энергетики и электрификации всех секторов экономики, что в совокупности определило ускорение энергетической трансформации на ВИЭ в странах БСМ. Тем не менее, **доказано**, что решение стран БСМ об отказе от атомных и угольных станций ближайшие годы, на фоне увеличения доли газа в энергобалансе стран, может привести к серьезным экономическим проблемам.

3. Структурированы основные факторы влияния на процессы замещения в странах БСМ, что позволило **определить** новую энергетическую политику этих стран, которая базируется на факторах влияния первого порядка - триаде энергобезопасности, энергоэффективности и климатической политики, объединенных парадигмой устойчивого развития экономики и общества. **Выявлены** новые факторы второго порядка влияния на процессы замещения в странах БСМ, к которым относятся: политика широкого вовлечения населения в «зеленую энергетику»; преодоление барьера интеграции в сети переменных ВИЭ (VRE) за счет цифровизации, различных накопителей энергии и резервных газо-турбинных установок; расширение масштабов электрификации транспорта; внедрение технологий концепции «электромобиль в сеть» (V2G); увеличение объема экспорта микросетей ВИЭ (Smart Grid) в развивающиеся страны и т.п. **Доказано**, что мультипликативный эффект и синергия выявленных факторов влияния обеспечили ускорение процессов энергетической трансформации в странах БСМ и многих государствах мира.

4. Выявлено, что климатическая политика стран БСМ определила переход всё возрастающих глобальных финансовых потоков от традиционной энергетики

к возобновляемой за счет крупнейших частных инвесторов и банков, корпоративных закупок «зеленой» электроэнергии ведущими компаниями мира по договорам PPA (power purchasing agreements), финансовых инициатив типа RE100 или Global Divest - Invest, внедрения фискальных мер и отказа от финансирования традиционной энергетики, пересмотра бизнес - стратегий в сторону ВИЭ многими мировыми энергетическими и нефтегазовыми компаниями. **Доказано**, что объемы субсидирования ВИЭ в странах БСМ постоянно росли, однако, субсидирование традиционной энергетики также сохранялось примерно в тех же размерах, что противоречит озвученной климатической политике этих стран. **Установлено**, что быстрое снижение стоимости энергии различных видов ВИЭ ведет к тому, что в странах БСМ уже рыночная экономика, а не субсидирование, становится драйвером развития возобновляемой энергетики.

5. **Выявлена** зависимость между ростом ВИЭ в глобальном масштабе и экспоненциальным ростом потребления и стоимости ископаемых ресурсов, необходимых для производства источников и накопителей этой энергии, что обуславливает противоречия между целями «зеленой энергетики» и реальными рисками для окружающей среды. **Доказано**, что данный тренд создает новый барьер развития ВИЭ, наряду с экологической неопределенностью с биоэнергетикой, а также утилизацией элементов ВИЭ с накопителями. **Обоснована** необходимость дальнейших исследований и учета этого тренда в моделях замещения на ВИЭ в мировой экономике.

6. **Выявлено**, что оценки эффективности энергетической трансформации выполняются в странах БСМ с помощью новых моделей, демонстрирующих влияние роста ВИЭ на многие факторы: ВВП, благосостояние, занятость, международную торговлю, ущерб окружающей среде и т.д. **Разработан** аналитический подход, основанный на факторах энергетической безопасности, экономической выгоды и рациональности внедрения технологий ВИЭ в разные сектора экономики, позволяющий выполнять оценки эффективности процессов замещения в странах (регионах) мира и в РФ. **Установлено**, что развитие морской

ветроэнергетики в странах БСМ по масштабам воздействия на мировую экономику может стать сравнимо с бумом шельфовой нефтегазовой индустрии, наблюдавшимся в этих же странах в прошлом веке. **Выявлена** успешная синергия оффшорной традиционной энергетики и новейших технологий ВИЭ, которая заключается в участии нефтегазовых компаний в развитии морских ВЭУ, использовании плавучих ВЭУ для продления срока службы нефтяных месторождений и т.д., что может оказать существенное влияние на процессы замещения и политику инвесторов.

7.Разработан эконометрический подход к оценке текущей динамики внедрения ВИЭ на основе аппарата кривых обучения с учетом капитальных, операционных издержек и нормированной стоимости электроэнергии (LCOE). **Получены** новые данные по кривым обучения для сектора оффшорных ВЭУ, которые **подтверждают** возможность проведения оценки динамики процессов внедрения развивающихся технологий ВИЭ в условиях недостаточности статистики. Также **разработан** эконометрический подход прогноза динамики роста новых технологий ВИЭ на базе алгоритма исследования тренда динамики LCOE, уравнений кривых обучения, роста кумулятивной мощности и суммарного производства электроэнергии. Полученные новые прогнозные данные о значительном росте ресурсов развивающихся морских ВЭУ стран БСМ к 2030 году, подтвердила целесообразность его использования для среднесрочных прогнозов динамики новых технологий ВИЭ, по которым ещё отсутствует статистика.

8. На основе опыта стран БСМ **разработаны** рекомендации для Российской Федерации в части увеличения доли ВИЭ в энергобалансе страны. В частности, **предлагается** внедрить в отечественную практику «зеленые сертификаты», долгосрочные соглашения PPA, финансовые инициативы типа «RE100» и другие инструменты поддержки. Для увеличения объема использования ВИЭ на внутреннем рынке РФ **предлагается**: внедрение ВИЭ на удаленных и изолированных территориях, а также расширение микрогенерации с широким привлечением населения в просьюмеры и энергетические кооперативы.

Расширение внешнего рынка ВИЭ, с учетом стратегических интересов России и возможностей её судостроительной промышленности, **рекомендуется** путем развития новых технологий плавучих ветровых ВЭУ. Для обеспечения конкурентоспособности экспорта ВИЭ, кроме имеющейся практики трансфера зарубежных технологий, **предлагается** активизация собственных НИОКР и инновационной деятельности, а также создание в стране индустрии редких и редкоземельных металлов.

Теоретическая и практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что они могут быть использованы:

- для развития теоретических и ориентированных на практику подходов к моделированию и прогнозированию энергетических трендов для отдельных регионов и стран в контексте мировой экономики;
- для совершенствования подходов оценки факторов, оказывающих влияние на динамику процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах мира;
- для разработки планов и программ стратегического развития регионов Российской Федерации с учетом возможной диверсификации и трансформации энергетического сектора;
- для дополнения и совершенствования образовательных программ по специальностям "мировая экономика", "экономика энергетики".

Результаты диссертационной работы использовались Институтом Энергетической Стратегии (ГУ ИЭС) при подготовке обосновывающих материалов по развитию энергетики в изолированных и удаленных районах Российской Федерации, а также могут быть востребованы Министерством экономического развития и Минэнерго РФ.

Публикации и апробация работы

Основные результаты диссертационного исследования отражены в шести статьях автора, из которых пять, общим объемом 3,9 п. л., были опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, а также были представлены

докладами на Международном конгрессе «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность - RENCON» в 2016 году и на Международной научно-практической конференции Научно-исследовательского университета – Высшая школа экономики в апреле 2017 года.

Структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 36 рисунков, 15 таблиц и 8 приложений. Объем основного текста составляет 186 стр., список литературы состоит из 288 наименований, общий объем работы - 235 стр.

ГЛАВА 1. ПРОЦЕССЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ НА ПРИМЕРЕ СТРАН БСМ

1.1. Процессы трансформации энергетического сектора мировой экономики и перспективы роста ВИЭ

Эволюционный путь энергетических технологий. В экономической науке широко используется фундаментальная теория длинных волн, предложенная Н. Кондратьевым¹ и развитая Й. Шумпетером, согласно которой смена фаз больших экономических циклов обусловлена преимущественным влиянием факторов научно-технического прогресса, формирующими инновационные волны.² При этом предполагается, что имеется некая движущая сила, которая определяет не только социально-экономическое развитие, экономический рост, но и в целом цивилизационный прогресс. Этой силой является наука, которая создает необходимые фундаментальные знания, трансформируемые впоследствии в технологические прикладные решения. В соавторстве с Г.Г. Фетисовым, С.Ю. Глазьев и Д.С. Львов установили, что для каждого исторического этапа экономического и социального развития характерно использование определённой суммы технологий, именуемой, как технологический уклад.³ Переход к каждому следующему этапу связан с творческим перерождением и появлением новой суммы технологий, определяющей отказ от ранее используемого уклада, что формирует технологический сдвиг. Целесообразно, придерживаясь концепции технологических укладов, рассмотреть основные этапы эволюционного пути энергетики в контексте создания и использования критических, прорывных технологий, которые являются «ключевым фактором», составляющим ядро каждого отдельного технологического уклада и определяют процессы трансформации энергетического сектора мировой экономики. Переходы от использования одного вида энергетических ресурсов к другому виду, с полным

¹ Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения.- М.: Экономика. 2002.- 767 с.

² Акаев А.А. Большие циклы конъюнктуры и инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера-Кондратьева // Экономическая наука современной России. - 2013. - №2(61). - С.7-29

³ Глазьев С.Ю., Львов Д.С., Фетисов Г.Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. - М : Наука. 1992. – 208 с.

или частичным замещением первого, можно характеризовать как научно-технический прогресс, направленный на наиболее полное удовлетворение энергетических потребностей общества и экономики для обеспечения должного уровня энергетической и экологической безопасности государства. Критические технологии, направленные на развитие национального и мирового энергетического сектора, составляют основу государственной научно-технической политики и взаимосвязанных с ней общенациональных приоритетных проектов, служащих интересам устойчивого развития государств. Начало первого технологического уклада относится к 1770 году.⁴ Но, до этого, человечество уже использовало возобновляемую энергию. На ранних этапах эволюционного развития человек ещё не мог преобразовывать и накапливать получаемую извне энергию. И уже только за несколько веков до Новой эры человечество освоило управление энергией ветра и воды (появление парусных судоводных средств, ветряных мельниц, водяных колес, системы акведуков и т.п.). Прimitивные технологии возобновляемой энергетики использовались человечеством вплоть до начала периода первого технологического уклада, совпавшего с первой промышленной революцией XVIII века. Тогда, использование энергии воды для развития текстильной промышленности, положило начало развитию новых технологий гидравлики, созданию мощных водяных турбин и гидросиловых установок. Переход от ремесленных к фабрично-заводским способам производства, дало импульс создания новых энергоемких отраслей - машиностроения и станкостроения. Поэтому на этапе второго технологического уклада в 1830 -1880 годы началась добыча угля в больших объемах для энергоснабжения разнообразных паровых машин и двигателей, а также обеспечения энергией значительных потребностей черной металлургии и тяжелого машиностроения. Кроме того, рост потребления угля определяло развитие парового железнодорожного, судоводного и автомобильного транспорта. В период третьего экономического уклада (с 1880 по 1930 год), с началом второй

⁴ Глазьев С.Ю. Возможности и ограничения технико-экономического развития России в условиях структурных изменений в мировой экономике. URL: <http://spkurdyumov.ru/economy/vozmozhnosti-i-ogranicheniya-tekhniko-ekonomicheskogo-razvitiya/6> (дата обращения 12.08.2017)

промышленной революции, одновременно с развитием гидроэнергетики и тепловой энергетики стала развиваться и электроэнергетика. Появилась возможность аккумулировать энергию, передавать её на расстояние и началась электрификация промышленного производства, транспорта и социально-бытового сектора. Также был создан двигатель внутреннего сгорания, который вызвал необходимость использования нефти. Стало понятно, что объемы производства энергии уже недостаточны для обеспечения потребностей быстрорастущей мировой экономики. Поэтому, начались интенсивные изыскания в области технологий добычи углеводородов и широкомасштабная разведка недр. И уже первые годы XX века ознаменовались началом промышленной добычи нефти и газа, при этом новые энергетические ресурсы позволили частично заместить традиционный для того времени уголь. Четвертый технологический уклад (с 1930 по 1980 годы) по использованию энергетических ресурсов можно назвать эпохой нефти (на 1990 год удельный вклад нефти в формирование структуры мирового энергетического баланса составлял порядка 40%).⁵ В 1951 году были проведены первые испытания атомных реакторов, основанных на использовании радиоактивного распада. Началось освоение газовых ресурсов, прокладка магистральных трубопроводов и высоковольтных распределительных электросетей.

Текущий пятый технологический уклад (1980 - 2040 гг.) в качестве формирующего ядра предполагает развитие информационных технологий, космической техники, микроэлектронной промышленности и роботостроения и т.д. Основные энергетические ресурсы: природный газ, новые технологии атомной энергетики и различные виды ВИЭ. Этот уклад совпадает, как по времени, так и по целям и содержанию с третьей промышленной (цифровой) революцией, концепцию которой разработал американский экономист Д. Рифкин.⁶ Стержнем этой концепции является энергетический сектор в тесном сочетании с IT-технологиями («энергетический Интернет»), что позволит

⁵ International energy databases // Portal Information "EnerData Intelligence & Consulting". URL: <http://www.enerdata.net/enerdatauk/knowledge/subscriptions/database> (дата обращения 12.08.2018)

⁶ Рифкин Д. Третья промышленная революция - М.: Альпина Нон-фикшн . 2017. - 410 с

буквально изменить цивилизацию. Предлагаемая энергетическая политика направлена на децентрализацию производства и потребления энергии, она должна обеспечить сотням миллионов человек возможность самим генерировать электроэнергию в своем доме и месте работы и продавать её друг другу. По мнению Д. Рифкина: «Энергия горючих полезных ископаемых устаревает, цены нестабильны, уровень цен зашкаливает. Технологии второй энергетической революции (к примеру, двигатель внутреннего сгорания) выработали свой потенциал, а вся инфраструктура второй промышленной революции сделана из углерода».⁷ Интересно там же ещё одно высказывание автора концепции: «Когда энергетическая революция совпадает с революцией в сфере коммуникаций, именно тогда и происходят великие технологические прорывы, тогда и наступает подходящий момент для создания новой экономической модели». Концепция Д. Рифкина была одобрена и принята Европейским союзом (ЕС) в 2007 году во главе Германией в качестве базового плана развития энергетики будущего. Пятый технологический уклад одновременно с 3-ей промышленной революцией определили новый цивилизационный шаг на эволюционном пути глобальной энергетики⁸, направленный на создание и использование новых технологий и ресурсов возобновляемой энергетики (Рис.1.1). Этот шаг был обусловлен тремя глобальными вызовами: появление дискриминации на мировых энергетических рынках (экспортеров, импортеров и транзитных стран), высоким уровнем экологических угроз эксплуатации традиционного углеводородного сырья и нарушением интересов будущих поколений, связанных с быстрым истощением недр. На протяжении некоторого времени новый и старый уклады сосуществуют вместе, что и определяет процессы замещения ископаемых ресурсов на ВИЭ в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

⁷ Рифкин Д. Третья промышленная революция - М.: Альпина Нон-фикшн, 2017. - 410 с

⁸ Бушуев В.В., Громов А.И. Новая энергетическая цивилизация: структурный образ возможного будущего // Энергетическая политика. - 2013. - №1. - С.14–23



Рисунок 1.1 - Эволюция энергетических ресурсов и технологий
Составлено автором

Особенности текущего этапа развития глобальной энергетики.

Несмотря на то, что в текущий период мировая экономика ещё находится на середине пути, как пятого технологического уклада, так и третьей промышленной революции, более десяти лет назад уже начался постепенный переход к шестому технологическому укладу. В рамках нового уклада прогнозируется развитие новейших критических технологий: ВИЭ, накопителей энергии, коммуникаций и наноэнергетики, нанотроники, новых видов транспорта и т.п. Ожидается резкое снижение энергоёмкости и материалоёмкости производства, индивидуализация производства и потребления, в том числе и электроэнергии и многое другое. В Германии было провозглашено также о начале перехода к четвертой промышленной революции «Индустрия 4,0», концепцию которой разработал К. Шваб, президент Всемирного экономического форума в Давосе.⁹ Основное внимание в рамках этой концепции планируется уделять тем же критическим технологиям, разработка которых предусматривается шестым укладом, но с большим акцентом на повсеместное развитие роботизации и интеграции технологий «Интернета вещей» (Industrial Internet), а также на широкое распространение локального производства за счет использования технологий 3D-принтинга. Всё это определяет быстрее глобальное распространение цифровой энергетики, внедрение новейших технологий ВИЭ и накопления энергии. По мнению К. Шваба рыночными победителями в этой ситуации могут стать только те страны, которые уже сегодня являются или реально готовятся стать технологическими лидерами.

В качестве первичных энергоносителей принято рассматривать любые ресурсы или природные явления, которые не были подвергнуты обработке или преобразованию. Соответственно вторичные энергоносители – это виды топливных, электрических, тепловых ресурсов, которые были получены посредством технико-технологической трансформации первичных энергоносителей.¹⁰ В работах В.В. Бушуева¹¹ подчеркивается, что

⁹ Шваб К. Четвертая промышленная революция – М.: Эксмо.2016.- 208 с.

¹⁰ Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: Изд. 3-е, доп. – СПб.: Изд. Политех. Ун-та. 2016. - 424 с.

энергетические ресурсы – это системообразующая компонента цивилизационного развития. Они могут быть классифицированы как органические (ископаемые), либо как неорганические, преобразованные из внешней среды. К традиционным, невозобновляемым (convectional, unrenovable) ресурсам принято относить все первичные и вторичные энергоносители, запас которых конечен, а цикл их естественного воспроизводства в природе на порядки превышает среднюю продолжительность человеческой жизни.¹² К нетрадиционным возобновляемым (unconvectional, renewable) источникам энергетических ресурсов принято относить всю совокупность первичных энергоносителей, запасы которых в природе и окружающей среда условно неисчерпаемы, а их воспроизводство осуществляется естественным процессом физических, химических и прочих реакций.¹³ Существует также научно обоснованная точка зрения, развитая в трудах В.А.Крюкова, Ю.А. Шафранника, что в нетрадиционные энергетические ресурсы целесообразно включать неконвенциональные углеводороды (сланцевую нефть и газ, шельфовые месторождения углеводородов, углеводороды труднопроницаемых коллекторов и т.п.).¹⁴ В соответствии с работами А.Э. Конторовича¹⁵ любые энергетические ресурсы (традиционные и нетрадиционные; возобновляемые и невозобновляемые) должны характеризоваться достоверностью и научной обоснованностью данных о предполагаемых и подтвержденных запасах, а также экономической целесообразностью их добычи (получения) и возможностью вовлечения в экономико-хозяйственный оборот. Например, в современном секторе электроэнергетики мировой экономики комплексно используются все имеющиеся виды ресурсов (Рис.1.2).

¹¹ Бушуев В.В., Громов А.И. Новая энергетическая цивилизация: структурный образ возможного будущего // Энергетическая политика. - 2013. - №1. – С.14–23

¹² Chapple K. Defining the Green Economy: A Primer on Green Economic Development // The Center for Community Innovation (CCI) at UC-Berkeley. – Berkeley, 2008. [URL:https://communityinnovation.berkeley.edu/sites/default/files/defining_the_green_economy_a_primer_on_green_economic_development.pdf?width=1200&height=800&iframe=true](https://communityinnovation.berkeley.edu/sites/default/files/defining_the_green_economy_a_primer_on_green_economic_development.pdf?width=1200&height=800&iframe=true)(дата обращения 15.07.2017)

¹³ Jewella J., Cherp A., Riahi K. Energy security under de-carbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy choices // Energy Policy. 2014. Vol. 65.- PP. 743–760. [URL:https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v65y2014icp743-760.html](https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v65y2014icp743-760.html)(дата обращения 11.09.2017)

¹⁴ Шафраник Ю.К., Крюков В.А. Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию. - М.: Перо, 2016.- 272 с.

¹⁵ Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Методология классификации запасов и ресурсов энергетического сырья// Регион: Экономика и Социология.- 2006. - № 3.- С. 57-59

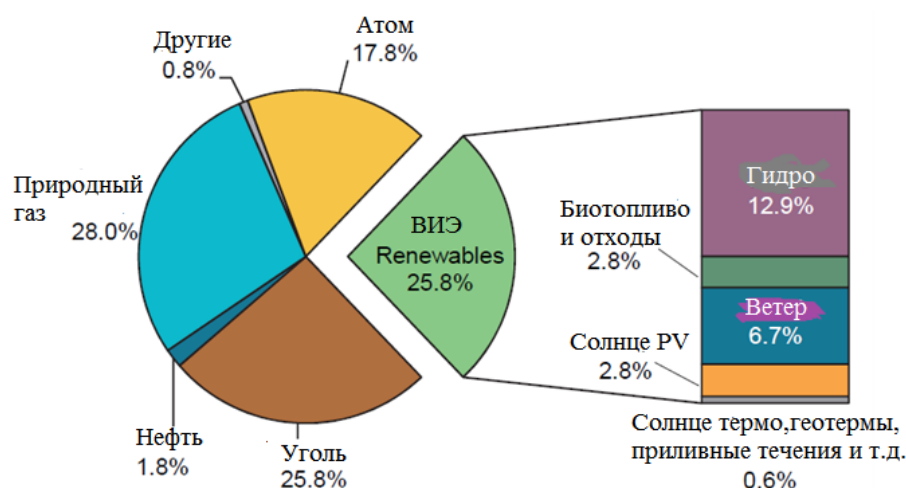


Рисунок 1.2 - Распределение долей ископаемых и возобновляемых ресурсов в производстве электроэнергии стран ОВСЕ в 2018 году

Источник: Statistics Renewables Information 2019/IEA. URL: <https://webstore.iea.org/renewables-information-2019> (дата обращения 12.12.19)

Научная парадигма устойчивого развития постепенно сливается с концепцией "зеленой экономики", поэтому использование тех или иных видов энергетических ресурсов должно быть соотнесено с уровнем экологического вреда и уровнем вероятных рисков, связанных с их добычей, переработкой, генерацией, эксплуатацией и последующей утилизацией, накапливающихся в результате этого отходов.¹⁶ Возобновляемая энергетика - это новый экономический сегмент национального и мирового топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с неизменяемым трендом, который предопределяет формирование новой энергетической цивилизации и обуславливает осознанную необходимость отказа от использования традиционных энергетических ресурсов.¹⁷ Авторский коллектив, в составе В.В. Бушуева, С.П. Филипова и других, предлагает классифицировать ВИЭ по физико-химическому происхождению, как органические (биомассы суши и водоемов) и неорганические ресурсы (гидроэнергетика, солнечная энергетика, геотермальная энергетика и

¹⁶ Panwar N.L., Kaushik S.C., Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2011.- Volume 15, Issue 3.- P. 1513–1524; Порьфирьев Б.Н. Новые тенденции развития мировой энергетики как вызовы перспективам интеграции России в глобальную экономику // Публикации Института народнохозяйственного прогнозирования РАН.- 2014.-URL: <https://ecfor.ru/publication/novye-globalnye-tendentsii-razvitiya-energetiki> (дата обращения 14.03.2018)

¹⁷ Herzog A., Lipman T., Kammen D. Renewable energy sources // Berkeley University.- 2001. URL: <http://rael.berkeley.edu/oldDrupal/sites/default/files/old-site-files/2001/Herzog-Lipman-Kammen-RenewableEnergy-2001.pdf> (дата обращения 18.03.2017)

прочие).¹⁸ В рамках технологического (эксплуатационного) подхода развития альтернативной энергетики, который развивается в трудах как российских специалистов, например, В.Е.Фортова, О.С. Попеля¹⁹, П.П. Безрукова²⁰, Г.В. Ермоленко²¹, В.В. Елистратова²² и других, так и зарубежными учеными, к которым относятся: А.Да Роза²³, Н. Джонстоун, И. Хачич, Д. Поуп²⁴, Дж. Твиделл и Т. Уир²⁵ и другие, принято выделять три классификационных группы: ВИЭ, предполагающие регулирование выработки объемов энергии, ВИЭ со сбросом неиспользованной энергии и ВИЭ с её накоплением.

По нашему мнению, именно возможность накопления энергии ВИЭ, с последующей транспортировкой и использованием, делает её полноценным ресурсом, подобным ископаемому топливу угольных, нефтяных и газовых месторождений. Возобновляемые технологии получают энергию либо от излучения Солнца или тепла Земли, либо от гравитационных сил взаимодействия Земли и Луны. Технологии ВИЭ находятся в непрерывном процессе развития, от каждой из них отпочковываются и начинают расти ветви новых и новейших технологий. Далее в работе нами предлагается разделять все технологии ВИЭ по информационному критерию на три основных группы: зрелые, развивающиеся и новые (Рис.1.3).

¹⁸ Бушуев В.В., Филипов С.П. и др. Мировая энергетика: состояние, проблемы и перспективы. - М.: ИД Энергия. 2007. - 664 с.

¹⁹ Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире: монография. - М.: ИД МЭИ. 2015.- 449 с.

²⁰ Безруких П.П. Ветроэнергетика: монография. - М.: ИД Энергия. 2010. - 320 с.

²¹ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетике НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

²² Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: Изд. 3-е, доп. – СПб.: Изд. Политех. Ун-та. 2016. - 424 с.

²³ Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. - М.: ИД Интеллект. ИДМЭИ. 2010.- 704 с.

²⁴ Johnstone N., Naščić I., Popp D. Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts // Environmental and Resource Economics.- 2010.- Volume 45. Issue 1- PP. 133–155

²⁵ Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources .Routledge.– 2015.- 816 p.
[URL:https://www.academia.edu/31835699/Renewable_Energy_Resources_3rd_John_Twidell_Tony_Weir_pdf](https://www.academia.edu/31835699/Renewable_Energy_Resources_3rd_John_Twidell_Tony_Weir_pdf)(дата обращения 18.10.2017)

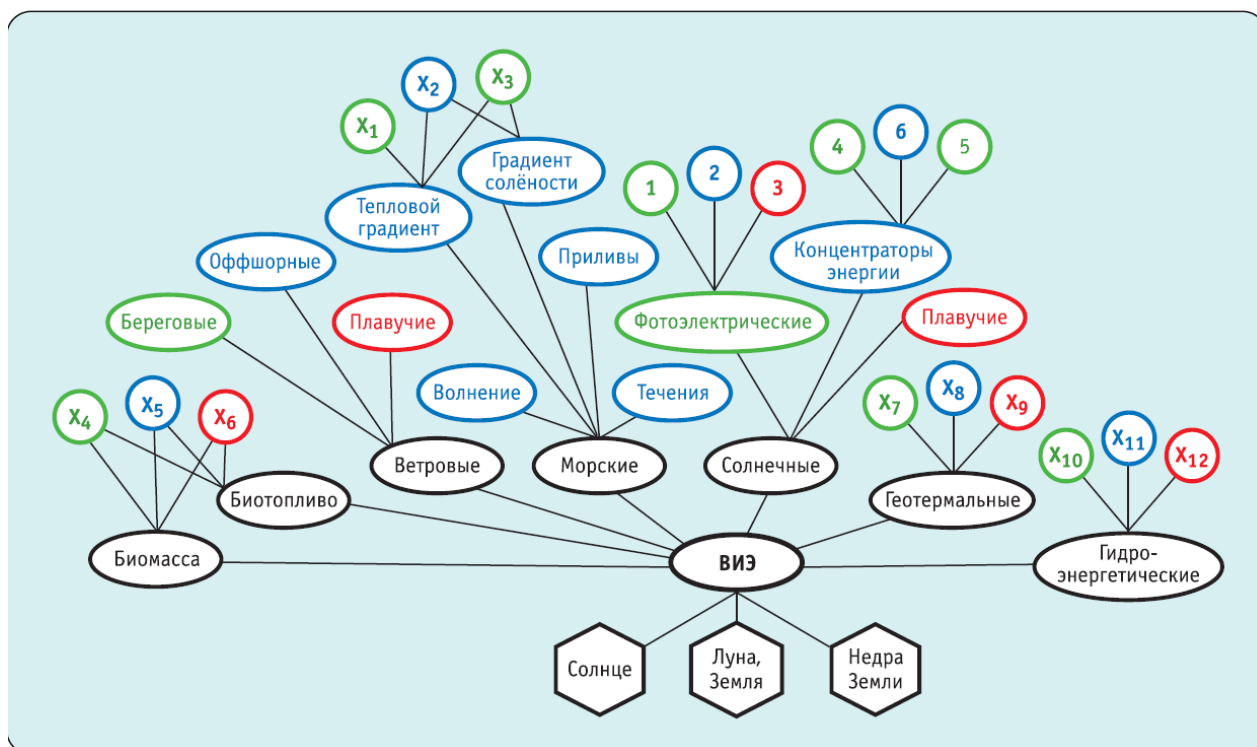


Рисунок 1.3 - Дерево роста новых технологий и ресурсов возобновляемой энергетики (зрелые - красный цвет, развивающиеся - синий, новые - зеленый)
Предложено и составлено автором

Процессы роста и совершенствования, подпитываемые научными открытиями, инновациями и инвестициями в НИОКР, постоянно происходят внутри каждого технологического направления. За счет этого «выращиваются» всё новые возобновляемые ресурсы и обеспечивается постоянное увеличение общих кумулятивных мощностей ВИЭ. Если обозначить через X совокупную установленную мощность каждой из j -ой из всех k технологий ВИЭ в любой i -ой из n стран, то общую динамику «выращивания» ресурсов альтернативной энергетики рассматриваемых стран можно аналитически задать в матричном виде, причем матрица может быть динамической, ежегодно пересчитываемой:

$$X(t) = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix}$$

Сумма каждой строки показывает объем ресурсов конкретной технологии ВИЭ по всем странам, а сумма каждого столбца – объем возобновляемых ресурсов в каждой определенной стране. Разность ($\Delta X = X(t) - X(t - 1)$) показывает прирост всех ресурсов ВИЭ к концу оцениваемого периода времени.

Использование матрицы X для оценки динамики роста ресурсов ВИЭ (процессов замещения) может стать еще более перспективным, если учитывать, что параметр ее размерности k – число направлений альтернативной энергетики, также растет за счет возникновения и развития новых технологий и что можно выполнять прогнозные оценки будущих объемов их ресурсов для уточнения всех «разведанных» запасов энергии. Например, за счет непрерывного совершенствования материалов, технологий сборки модулей, создания контактных структур и многого другого, к 2014 году суммарная мощность фотоэлектрической энергетики в мире достигла 170 ГВт²⁶, а в 2018 году уже превысила 486 ГВт (Рис.1.4), что стало почти в 85 раз больше, чем в 2005 году.²⁷

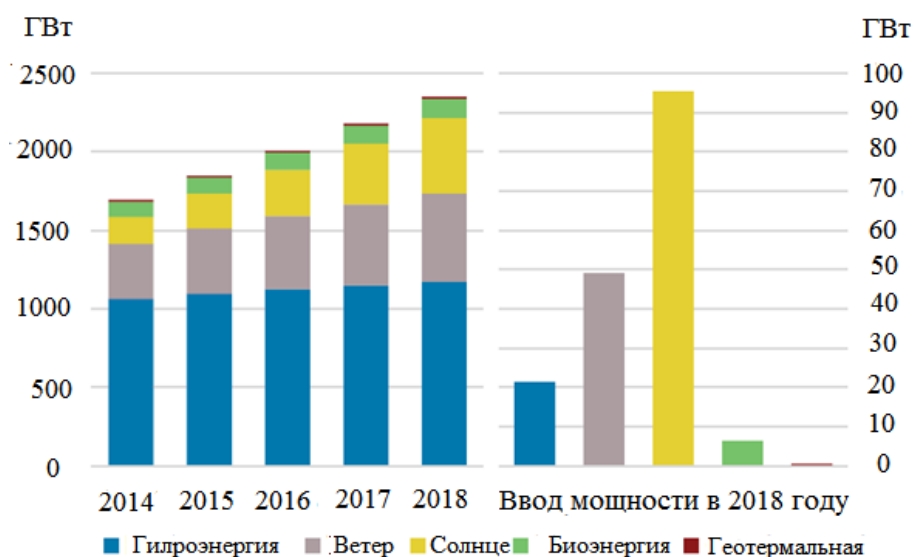


Рисунок 1.4 – Глобальная кумулятивная мощность ВИЭ на начало 2019 года

Источник: Renewable capacity highlights/IRENA/URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf (дата обращения 15.12.19)

Глобальная ветровая энергетика в 2018 году выросла до 564 ГВт.²⁸ К началу 2019 года глобальная установленная мощность ВИЭ достигла 2 351 ГВт, из которых около 50% приходится на большую гидроэнергетику. В 2018 году в

²⁶ Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире: монография. - М.: ИД МЭИ. 2015.- 449 с.

²⁷ Snapshot of Global Photovoltaic Markets. IEAPVPS. URL:[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf) (датаобращения 12.01.2019)

²⁸ GWEC Global Wind 2017. Report 2017.

URL:http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/dunya_res_durumu/gwec_global_wind_report_april_2018.pdf(датаобращения 16.11.2018)

проекты ВИЭ инвестировалось уже в 2,5 раза больше, чем в традиционную энергетику. По данным Международного Энергетического Агентства (IEA), к 2023 доля возобновляемой энергетики составит более 30% в мировом спросе на электроэнергию.²⁹ Рост и совершенствование всех технологий ВИЭ в мире – это нескончаемый процесс, происходящий темпами, которые еще несколько лет назад невозможно было представить. Например, только за 2016 год в Германии суммарная мощность ветровой энергетики увеличилась на 5,1 ГВт.³⁰ За 2017 год в мире было построено более 52 ГВт ветровых и свыше 98 ГВт солнечных электростанций, что вместе с другими ВИЭ обеспечило прирост 70% всех генерирующих мощностей в мире.³¹ Для сравнения, Саяно - Шушинская ГЭС мощностью 6,0 ГВт строилась около 35 лет, а самая большая российская Сургутская ГЭС (5,6 ГВт) - около 30 лет.

1.2. Современное состояние, особенности и тренды энергетического сектора стран БСМ

Появление новых технологий добычи нефти и газа в странах БСМ обусловили прорыв в обеспечении их энергетических потребностей в течение большей части XX века. Но последующие кризисы ("нефтяное эмбарго" в 1973 году, исламская революция в Иране в 1979 году и войны в Персидском заливе), вызвавшие резкий рост цен на нефть, показали, что традиционные источники энергии нельзя рассматривать, как единственную надежную и долговременную основу развития мировой экономики. Тенденции к истощению собственных энергетических ресурсов или их отсутствие выдвинули на передний план стремление к снижению энергетической зависимости государств ЕС-28, и прежде всего стран БСМ, Одновременно с этим, мировым сообществом была признана проблема изменения климата за счет выбросов CO₂, в том числе, как результата расточительной эксплуатации добываемых углеводородных источников энергии.

²⁹ Renewable capacity highlights/IRENA/URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/RE_capacity_highlights_2019.pdf (дата обращения 15.12.19)

³⁰ Renewables 2017. Analysis and Forecasts to 2022/IEA. URL:<https://webstore.iea.org/market-report-series-renewables-2017>(датаобращения 14.10.2018)

³¹ RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT. REN21.URL:http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf(дата обращения 10.01.2019)

Эти причины способствовали тому, что страны БСМ стали сегодня одним из мировых центров развития и коммерциализации технологий возобновляемой энергетики. Благодаря значительным государственным и частными инвестициями в «зеленую» энергетику странам БСМ к 2019 году удалось достигнуть экспоненциального роста различных видов ВИЭ, и этот процесс продолжается быстрыми темпами. Уже к 2015 году 11,8% потребляемой в ЕС электроэнергии было произведено с помощью технологий альтернативной энергетики, а прирост производства электроэнергии от ВИЭ с 1990 по 2015 год превысил 400%.³² Лидерами в использовании потенциала альтернативной энергетики стали страны БСМ, в которых уже к 2015 году установленная мощность ВИЭ была увеличена практически в 3 раза по сравнению с 2000 годом. Рост доли совокупной генерации ВИЭ (солнце и ветер) от общего производства электроэнергии в странах БСМ показал высокую скорость динамики. Если, в целом в ЕС-28 за период с 2008 по 2016 годы эта доля поднялась с 4% до 13%, то в Германии она выросла с 7% до 19%, в Великобритании с 2% до 15%, а в Дании с 20% до 47%.³³ Состояние ТЭК стран БСМ различно. Например, Норвегия и Великобритания добывают и экспортируют ископаемое топливо, а Франция и Германия испытывают серьезную зависимость от импорта энергетических ресурсов. Во всех странах БСМ наблюдается высокое потребление как традиционных, так и возобновляемых энергетических ресурсов во всех секторах экономики. Можно говорить о важной роли энергетической политики стран БСМ не только в обеспечении собственной энергетической безопасности, но и всех стран Западной Европы в качестве транзитных узлов снабжения углем, газом, нефтью, а также электроэнергией от ВИЭ.

Германия, начиная с 2007 года, приняла ряд важных решений развития возобновляемой энергетики (программа «Energiewende»).³⁴ Среди стран БСМ

³² Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ. 2016. - 96 с.

³³ Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 12.10.2018)

³⁴ Сайт International Energy Agency. URL <https://www.iea.org/countries/Germany> (дата обращения 12.11.2018)

Германия занимает первое место по снабжению первичной энергией, величина которой в 2018 году достигла 298 Мт.н.э. Из них около 19,8 Мт.н.э. (6,6 %) было обеспечено атомными станциями. Большую долю в снабжении страны первичной энергией продолжает занимать импорт ископаемых ресурсов. Причем, если в 2018 году было использовано 67,1 Мт.н.э. угля и 97,9 Мт.н.э. нефти, что оказалось меньше на 47,8 % и на 19,4 % соответственно, чем в 1990 году, то натурального газа было использовано 71,5 Мт.н.э., что стало больше на 30,7 % по сравнению с тем же годом (Табл.1.1).

Таблица 1.1
Ресурсы первичной энергии стран БСМ

Первичные энерго ресурсы Мт.н.э.	Германия			Великобритания		
	1990	2016	2018	1990	2016	2018
Уголь	128,6	77,2	67,1	63,1	11,8	7,99
Натуральный газ	55,0	70,3	71,5	47,2	69,4	67,9
Нефть	121,4	101,4	97,9	76,4	60,7	60,6
Атом	39,8	22,0	19,8	17,1	18,7	16,9
Гидроэнергия	1,5	1,8	1,55	0,46	0,46	0,47
Биотопливо и отходы	4,8	30,7	30,0	0,626	12,1	15,2
Солнце, ветер и другие ВИЭ	0,017	11,0	14,8	0,012	4,2	6,1

Составлено автором по данным: Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/Germany> ; URL: <https://www.iea.org/countries/United%20Kingdom> (дата обращения 12.08.2019)

Германия располагает гибкой инфраструктурой поставок природного газа и нефти, а также крупнейшим в ЕС газохранилищем, общей мощностью 20,9 млрд. куб. м. Объем первичной энергии в 2018 году от ГЭС и МГЭС (1,55 Мт.н.э.) мало изменился по сравнению с 1990 годом, а от различных ВИЭ увеличился в 871 раз (14,8 Мт.н.э.), не считая энергии биотоплива и отходов, совокупный объем которых вырос в 6,3 раза (30,0 Мт.н.э.). В производстве электроэнергии (Рис.1.5) пока ещё используются значительные объемы ископаемого топлива. Так, в 2016 году доля угля составляла 47,7%, доля природного газа 14,4% и доля атомных станций около 14,8%. В 2018 году эти показатели несколько снизились и стали, соответственно, 40,2%, 14,1% и 12,6%. Процессы роста возобновляемой энергетики Германии характеризуется высокой степенью динамики (Табл.1.2).

Так, в 2010 году от солнца и ветровых ВИЭ было произведено 11,7 ТВт-ч и 37,8 ТВт-ч электроэнергии соответственно, в 2016 году 38,1 ТВт-ч и 78,6 ТВт-ч, а в 2018 году уже 40,2 ТВт-ч и 111,6 ТВт-ч. При этом, объемы производства электроэнергии от ГЭС и МГЭС несколько снизились,

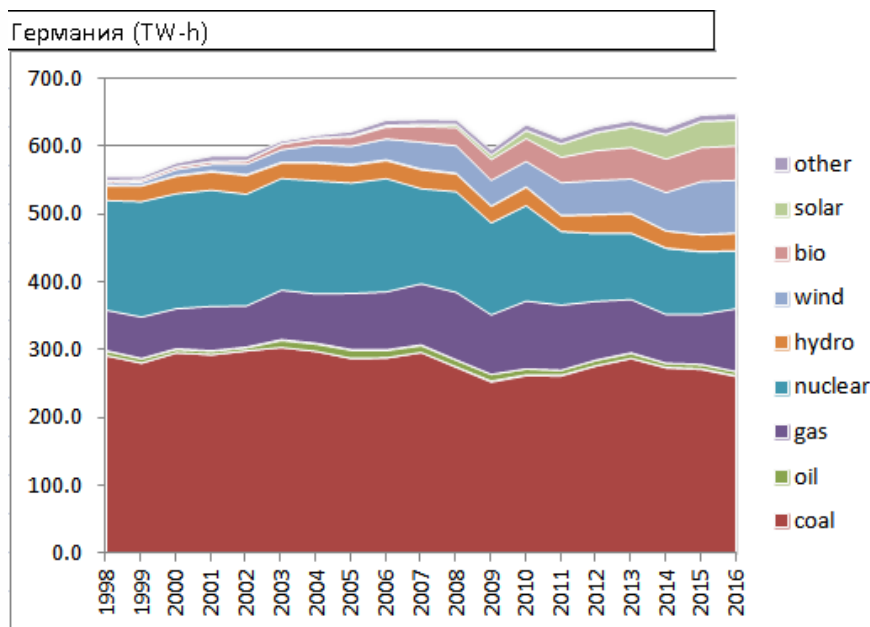


Рисунок 1.5 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Германии (1998 - 2016 г.г.)

Составлено автором по данным статистики: Energydatasheets: EU28

countries. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx (дата обращения 14.09.2018)

Таблица 1.2

Производство электроэнергии от возобновляемых источников в странах БСМ

Электроэнергия от ВИЭ, ТВт-ч	Германия				Великобритания			
	2000	2010	2016	2018	2000	2010	2016	2018
Солнце PV	0,06	11,7	38,1	40,2	0,001	0,04	10,4	12,9
Ветер	9,4	37,8	78,6	111,6	0,95	10,3	37,4	57,1
Гидро	26,0	27,4	26,1	24,2	7,8	6,7	8,4	7,96
Биотопливо и отходы	10,1	40,7	58,2	58,3	4,5	13,7	34,8	40,1

Составлено автором по данным IEA: Сайт International Energy Agency.

URL: <https://www.iea.org/countries/Germany>; URL: <https://www.iea.org/countries/United%20Kingdom> (дата обращения 12.08.2019)

составив 24,2 ТВт-ч в 2018 году. Значительную долю в производстве электроэнергии занимают биотопливо и отходы, объем которых с 10,1 ТВт-ч в 2000 году увеличился до 58,3 ТВт-ч в 2018 году. Если в 2016 году гидро, солнечные, ветровые и биоэнергетические технологии ВИЭ в Германии совокупно обеспечили 31,2% генерации электроэнергии (Рис. 1.5), то в 2018

году уже около 40%.³⁵ Установленная мощность солнечной электроэнергетики в стране с нуля в 2000 году за 16 лет достигла 20% , а ветровой с 5% до 24% при суммарной мощности всех электростанций ТЭК в 2016 году около 208,5 ГВт (Рис.1.6). За этот же период времени доля атомных электростанций с 19% снизилась до 5% а доля традиционной энергетики на 25%.



Рисунок 1.6 - Кумулятивная установленная мощность различных источников производства электроэнергии ТЭК Германии (слева 2000 год, справа 2016 год)

Составлено автором по данным статистики: Energydatasheets: EU28 countries. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx (дата обращения 17.09.2018)

К началу 2019 года кумулятивная мощность СЭС Германии выросла до 45,9 ГВт, а ВЭУ до 59,4 ГВт. Правительство страны решило ускорить поэтапный отказ от ядерной энергии к 2022 году, отказаться от субсидирования угольного сектора и к 2030 году получать до 50% электроэнергии от ВИЭ. К настоящему времени девять реакторов атомных электростанций Германии уже остановлены.³⁶ Выдвинуто также предложение закрыть все угольные электростанции к 2038 году³⁷, хотя страна в 2018 году так ещё и не присоединилась к глобальному анти - угольному альянсу.³⁸ Все достижения Германии в области новой

³⁵ В ближайшем будущем Германия планирует отказаться от угля. URL: <https://habr.com/ru/post/439470> (дата обращения 12.01.2019)

³⁶ Германия: сначала отказ от АЭС, затем участие общества в решении проблем РАО. URL: <https://bellona.ru/2017/01/26/atom-germany/> (дата обращения 12.08.2018)

³⁷ В ближайшем будущем Германия планирует отказаться от угля. URL: <https://habr.com/ru/post/439470> (дата обращения 15.01.2019)

³⁸ International Community Pledges to Coal Phase Out by 2030. URL: <https://www.offshorewind.biz/2017/11/17/international-community-pledges-to-coal-phase-out-by-2030/> (дата обращения 12.08.2018)

энергетической политики оказывают большое влияние на процессы замещения в странах ЕС, а также во всем энергетическом секторе мировой экономики.

Великобритания почти всю нефть и газ добывает с месторождений в Северном море, причем, ресурсы и производство постепенно сокращаются. Поэтому, большое значение уделяется диверсификации импорта нефти и газа наряду с технологиями генерации электроэнергии от ВИЭ. По данным IEA общее потребление первичной энергии Великобритании постепенно снижается и в 2018 году составило 177 Мт.н.э.³⁹ Наблюдается существенное снижение объемов угля и нефти в обеспечении первичной энергией, а также рост доли природного газа. Причем, если в 2018 году за счет угля было получено 7,99 Мт.н.э., а за счет нефти 60,6 Мт.н.э., что оказалось меньше на 87,3 % и на 19,4 %, чем в 1990 году, то за счет натурального газа было произведено 67,9 Мт.н.э., что стало на 43,9 % больше по сравнению с тем же годом (Табл.1.1). Объем первичной энергии в 2018 году от АЭС (16,9 Мт.н.э) и гидроэлектростанций (0,47 Мт.н.э.) почти не изменился по сравнению с 1990 годом, а от различных ВИЭ увеличился в 508 раз (до 6,1 Мт.н.э.), не считая энергии биотоплива и отходов, совокупный объем которых увеличился в 24,3 раз (до 15,2 Мт.н.э.). Важно отметить что, начиная с 2005 года, в Великобритании наблюдается рост использования ВИЭ в производстве электроэнергии при значительном снижении доли угля и нефти, хотя доля газа остается ещё достаточно большой, около 37% (Прил., рис. А1). При суммарной мощности всех ТЭС страны в 2016 году около 97,6 ГВт, доля установленной мощности солнечных ВИЭ с 2000 года достигла 12% и ветровых до 16 %, а мощность атомных станций с 2000 года уменьшилась в 3,5 раза (Прил., рис.А2). К началу 2019 года кумулятивная мощность СЭС Великобритании выросла до 13,1 ГВт, а ВЭУ до 21,7 ГВ. Процессы роста генерации в стране характеризуется высокой степенью динамики. Так, в 2010 году от солнечных и ветровых ВИЭ было произведено 0,04 ТВт-ч и 10,3 ТВт-ч электроэнергии соответственно, в 2016 году - 10,4 ТВт-ч и 37,4 ТВт-ч, а в 2018 году уже 12,9 ТВт-ч и 57,1 ТВт-ч

³⁹Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/United%20Kingdom> (датаобращения 17.09.2019)

(Табл.1.2). Значительную долю в производстве электроэнергии занимают иотопливо и отходы, объем которых с 4,5ТВт-ч в 2000 году увеличился почти в 10 раз в 2018 году (до 40,15ТВт-ч). За эти годы объем производства электроэнергии от ГЭС и МГЭС мало изменился. В течение 2018 года от ветровых ВИЭ было произведено уже больше электроэнергии, чем от угольных электростанций. Если ещё в 2012 году доля угля в генерации электроэнергии в стране составляла около 40%, то к 2017 году этот показатель уже снизился до 2% (Прил.,рис.А1). Великобритания выступила с инициативой создания глобального анти-угольного Альянса (Powering Past Coal) и объявила о полном отказе от использования угля в стране к 2025 году.⁴⁰

Франция занимает второе место среди стран БСМ по общему снабжению первичной энергией, величина которой в 2018 году составила 249,5 Мт.н.э.⁴¹, и 43,1% этой энергии, около 107,6 Мт.н.э., поступила от атомных станций (Табл.1.3). В обеспечении первичной энергией достаточно велики объемы ископаемых ресурсов, причем, если в 2018 году было использовано 9,08 Мт.н.э. угля и 69,97 Мт.н.э. нефти, что оказалось меньше на 54,6% и на 16,7%, чем в 1990 году, то натурального газа было использовано 36,7 Мт.н.э., что стало больше на 41,2% по сравнению с тем же годом (Табл.1.3). Нефть играет важную роль в транспорте и промышленности, и является вторым по величине источником первичной энергии во Франции. Доля угля в обеспечении первичной энергии не превышает 3,6% и совсем мала в электроэнергетическом секторе. Объем поступлений первичной энергии в 2018 году от гидроэлектростанций (5,6 Мт.н.э.) мало изменился по сравнению с 1990 годом, а от различных ВИЭ увеличился в 17,4 раз (3,14 Мт.н.э.), не считая энергии биотоплива и отходов, совокупный объем которых увеличился лишь в 1,61 раз (17,76 Мт.н.э.). По доле атомной энергетики в производстве электроэнергии Франция занимает первое место в

⁴⁰ International Community Pledges to Coal Phase Out by 2030.

URL:<https://www.offshorewind.biz/2017/11/17/international-community-pledges-to-coal-phase-out-by-2030>(дата обращения 18.07.2018)

⁴¹ Сайт International Energy Agency. URL:<https://www.iea.org/countries/France>(дата обращения 15.08.2018)

Таблица 1.3

Ресурсы первичной энергии стран БСМ

Первичные энергоресурсы Мт.н.э.	Франция		Бельгия		Нидерланды		Дания	
	1990	2018	1990	2018	1990	2018	1990	2018
Уголь	20,0	9,08	10,57	3,1	8,2	8,13	6,09	1,57
Натуральный газ	26,0	36,7	8,17	14,85	30,7	30,7	1,82	2,66
Нефть	84,0	69,97	17,6	20,4	24,9	25,6	7,65	6,19
Атом	81,8	107,6	11,13	7,45	0,9	0,92	0,0	0,0
Гидроэнергия	4,6	5,6	0,023	0,025	0,007	0,006	0,002	0,001
Биотопливо и отходы	11,0	17,74	0,75	3,7	0,97	3,7	1,14	4,73
Солнце, ветер и другие ВИЭ	0,18	3,98	0,004	1,01	0,022	1,37	0,056	1,35

Составлено автором по данным IEA: Сайт InternationalEnergyAgency.
 URL: <https://www.iea.org/countries/France>; URL: <https://www.iea.org/countries/Belgium>;
 URL: <https://www.iea.org/countries/Denmark> URL: <https://www.iea.org/countries/The%20Netherlands> (дата обращения 12.08.2019)

мире - около 71,5% от генерации в стране в 2016 году (Прил., рис. А3), а в 2018 году уже 77%. Если в 2000 году от солнечных и ветровых ВИЭ Франции ещё вообще не производилось электроэнергия, то в 2018 году соответственно – 10,2 ТВт-ч и 28,5 ТВт-ч (Табл. 1.4). При этом, в 2018 году объем производства

Таблица 1.4

Производство электроэнергии от возобновляемых источников в странах БСМ

Элек . энергия от ВИЭ, ТВт-ч	Франция			Бельгия			Нидерланды			Дания		
	2000	2016	2018	2000	2016	2018	2000	2016	2018	2000	2016	2018
Солнце PV	0,005	8,66	10,2	0,0	3,09	3,97	0,008	1,56	3,2	0,001	0,74	0,95
Ветер	0,048	21,4	28,5	0,016	5,44	7,5	0,83	8,17	10,5	4,24	12,8	13,9
Гидро	71,1	65,7	70,1	1,7	1,49	1,3	0,14	0,1	0,07	0,03	0,02	0,01
Биотопливо и отходы	3,6	10,04	10,7	1,35	6,8	6,8	3,2	6,6	6,78	1,86	5,61	6,62

Составлено автором по данным IEA: Сайт InternationalEnergyAgency.
 URL: <https://www.iea.org/countries/France>; URL: <https://www.iea.org/countries/Belgium>;
 URL: <https://www.iea.org/countries/Denmark> URL: <https://www.iea.org/countries/The%20Netherlands> (дата обращения 12.08.2019)

электроэнергии от биотоплива и отходов увеличился в 3 раза по сравнению с 2000 годом, а гидроэнергетики практически не изменился за этот период.

При общей мощности всех электростанций страны около 133,1 ГВт в 2016 году, доля установленной мощности атомных электростанций Франции составила 48% и традиционной энергетики около 16 %, а доля мощности солнечных ВИЭ достигла 6,0 %, ветровых – 9,0 % (Прил., рис. А4). В 2018 году установленная мощность СЭС страны достигла 9,5 ГВт, а ВЭУ - 15,1 ГВт. Главными событиями, связанными с процессами трансформации энергетического сектора Франции, является решение правительства страны сократить на 50% к 2025 году производство электроэнергии от атома, остановить к 2035 году 14 атомных реакторов ⁴², а также намерение почти полного отказа от угля до 2023 года.⁴³

Бельгия в 2018 году была обеспечена первичной энергией в объеме 52,0 Мт.н.э., из которых 14,3% приходилось на атомную энергетику , 39,2% на нефть и 28,5% на натуральный газ (Табл.1.3).⁴⁴ Заметна устойчивая тенденция роста объема газа и нефти по отношению к 1990 году. В то же время, уголь играет все меньшую роль в энергоснабжении страны, его объем к 2018 году снизился в 3,35 раза за четверть века , а объем биоэнергетики и объем энергии различных ВИЭ за этот же период времени увеличились в 8.3 и 252,5 раза соответственно (Табл.1.3). В 2018 году в Бельгии было произведено 74,6 ТВт-ч электроэнергии. При этом, практически прекратилось использование нефти и угля, но постоянно растет совокупная доля различных ВИЭ, которая в 2016 году достигла 20% (Прил., рис. А5). Наибольшее производство электроэнергии в 2018 году обеспечили ветровые (7,5 ТВт-ч) и солнечные (3,97 ТВт-ч) ВИЭ (Табл.1.4). Доля установленной мощности альтернативной энергетики постепенно растет , достигнув в 2016 году 6% для солнечных и 9% для ветровых ВИЭ (Прил., рис. А6). В 2018 году установленная мощность всех электростанций в Бельгии составляла 23,2 ГВт , из них 8,5 ГВт (36,7%) пришлось на ископаемое топливо, 5,92 ГВт (25,5%) на атом, и уже 3,2 ГВт (13,8%) на ВЭУ и 4, 03 (17,4%) на СЭС. Страна имеет хорошую газотранспортную инфраструктуру, связанную с соседними

⁴² Франция отказывается от атомной энергетики. URL: <http://www.data24.co.il/archives/1382>(дата обращения 18.03.2019)

⁴³ Есть ли будущее у угля ?URL: <http://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/est-li-budushchee-u-uglya>(дата обращения 18.04.2019)

⁴⁴Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/Belgium> (дата обращения 12.08.2019)

государствами. Правительством Бельгии принято решение о закрытии всех атомных электростанций в ближайшее десятилетие, что вызывает проблемы, связанными с надежностью и ценами энергоснабжения.⁴⁵ Частичный отказ от атома до 2025 года планируется заменить газовой генерацией (около 4,0 ГВт).

Дания добывает нефть и природный газ на шельфе Северного моря, но наблюдается истощение имеющихся месторождений. С целью снижения выбросов парниковых газов правительство Дании решило обеспечить в 2030 году не менее 50% энергопотребления страны от ВИЭ, а к 2050 году полностью отказаться от ископаемого топлива.⁴⁶ Однако, в снабжении первичной энергии объем натурального газа с 1990 года вырос на 46,1% и составлял в 2018 году около 15,6% от всех поступивших ресурсов, а объем нефти, хотя и снизился на 19% , но , её доля оказалась достаточно высокой (36,4%) в общем объеме энергоносителей (Табл.1.3). В то же время, уголь играет все меньшую роль в энергетике страны, его объем снизился в 3,9 раза за 28 лет и в 2018 году составил 1,57 Мт.н.э. В потреблении первичной энергии Дании наблюдается увеличение объемов биотоплива и энергии отходов в 4,2 раза, а также в 24 раза энергии солнца, ветра и других ВИЭ относительно 1990 года. В секторе электроэнергетики Дании практически прекратилось использование нефти и газа, постоянно снижается доля угля, хотя объем его в генерации ещё составлял около 28% в 2016 году (Прил.,рис.А7). Наибольшее производство электроэнергии в 2018 году, объемом 13,9 ТВт-ч , обеспечили ВЭУ , что стало в 3,2 раза больше по сравнению с 2000 годом (Табл.1.4). Доля установленной мощности «зеленой» энергетики в генерации Дании постоянно растет , достигнув в 2016 году 6% для солнечных и 36% для ветровых ВИЭ (Прил., рис. А8). Но, при этом установленная мощность традиционной энергетики остается ещё довольно большой (47%), хотя и сократилась с 2010 года в почти в 1,7 раз. В 2018 году установленная мощность всех электростанций страны составляла 14,9 ГВт, из них 7,9 ГВт (53,0%) пришлось на ископаемое топливо, 1,34 ГВт (9%) на биоэнергетику, 5,76 ГВт

⁴⁵ Бельгия приняла программу отказа от атомной энергетики. URL: <https://tenergy.livejournal.com/130699.html> (дата обращения 20.04.2019)

⁴⁶ Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/Denmark> (дата обращения 12.08.2019)

(38,7%) на ВЭУ и 1,0 ГВт (6,7%) на СЭС. Дания признана в качестве мирового лидера в области интеграции переменчивых ветровых ВИЭ при одновременном поддержании качества и надежности электрических сетей.

Нидерланды добывают ископаемое топливо на шельфе Северного моря, которое широко используется во всех секторах её экономики. Географическое расположение страны делает ее важным транзитным и торговым центром для природного газа, угля, нефти.⁴⁷ Хотя запасы углеводородов уже близки к истощению⁴⁸, в снабжении первичной энергией натуральный газ и нефть занимают большие объемы. Эта ситуация мало изменилась по сравнению с 1990 годом и к 2018 году от всех поступивших в страну ресурсов, объемом 72 Мт.н.э, доля натурального газа составила 42,6%, а нефти 35,5% (Табл.1.3). Доля угля в снабжении первичной энергией Нидерландов также достаточно велика (11,3%), а ядерная энергия обеспечивает малую, но стабильную долю энергии. В первичном энергоснабжении Нидерландов к 2018 году наблюдалось увеличение в 3,8 раз объемов биотоплива и энергии отходов относительно 1990 года, а также в 62,3 раза энергии солнца, ветра и других ВИЭ. В производстве электроэнергии Нидерландов доминируют натуральный газ и уголь, доли которых составили соответственно около 50% и 32% от всего объема генерации в 115 ТВт-ч в 2016 году (Прил., рис. А9). В 2018 году ВЭУ обеспечили производство электроэнергии объемом 10,5 ТВт-ч, а СЭС около 3,2 ТВт-ч, что стало выше по сравнению с 2000 годом в 12,6 и 400 раз соответственно (Табл.1.4). Совокупный вклад в производство электроэнергии солнечных и ветровых ВИЭ в 2018 году составил около 12%. Установленная мощность ВИЭ в электроэнергетике Нидерландов постепенно растет, достигнув в 2016 году доли 6% для СЭС и 13% для ВЭУ (Прил., рис. А10). В 2018 году установленная мощность всех электростанций страны составила 36,5 ГВт, из них 25,6 ГВт (70,1%) пришлось на ископаемое топливо, 4,47 ГВт (12,2%) на ВЭУ и 4,15 ГВт (11,4%) на СЭС. Из

⁴⁷Сайт International Energy Agency. URL:<https://www.iea.org/countries/The%20Netherlands>(датаобращения 12.08.2010)

⁴⁸ В Норвегии стали добывать меньше нефти. Газовые месторождения тоже постепенно исчерпываются. URL:<https://regnum.ru/news/2182427.html> (дата обращения 12.12..2019)

стран БСМ на долю Нидерландов приходится самое высокое количество выбросов парниковых газов в атмосферу, что затрудняет реализацию климатической политике ЕС. Поэтому правительством страны принято решение полностью отказаться от угля к 2030 году.⁴⁹

Норвегия лоббировала нефть и газа в Северном море, что сделало страну крупным экспортером ископаемого топлива. Более 41,3% первичной энергии и 96% производства электроэнергии обеспечивались в 2018 году гидроэнергетикой страны.⁵⁰ Широкая интеграция электрических сетей Норвегии в сети стран БСМ позволяет использовать её гидроэнергетику в качестве дополнительного ресурса и хранилища энергии. Норвегия пока не внедряет у себя новые технологии ВИЭ и не оказывает прямого влияния на процессы замещения, поэтому в дальнейшем в работе эта страна не рассматривается.

Данные Европейского Агентства по окружающей среде с 2005 года по 2016 год подтвердили значительную эффективность внедрения ВИЭ в странах БСМ.⁵¹ Например, только в Германии рост использования ВИЭ привел к снижению выбросов CO₂ на 132,0 Мтн (на 12%), потребление ископаемого топлива на 36,0 Мт.н.э. (на 12%) и первичной энергии на 10,5 Мт.н.э. (на 3%).

Результаты проведенного в разделе анализа показывают значительный рост доли ВИЭ в балансе ТЭК стран БСМ, а также уже заметное влияние возобновляемой энергетики на снижение выбросов CO₂ и использование ископаемого топлива. В то же время, доля традиционных источников энергии и атома ещё достаточно велика. Очевидно, что выполнение решений стран БСМ полностью исключить атомные и угольные станции в среднесрочной перспективе будет очень трудной энергетической и экономической задачей, а её реализация потребует значительного увеличения использования природного газа и импорта электроэнергии из соседних стран.

⁴⁹ Нидерланды закроют все угольные электростанции в течении следующих 12 лет. URL: <http://ecology.md/page/niderlandy-zakrojut-vse-ugolnye-elektrostancii-v-techenii-sledujushhih-12-let>(дата обращения 19.02.2019)

⁵⁰ Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/Norway>(дата обращения 11.07.2019)

⁵¹ Renewable energy in Europe – 2018. Recent growth and knock-on effect. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>(дата обращения 16.04.2019)

1.3. Процессы интеграции, трансформации и замещения в энергетическом секторе мировой экономики на примере стран БСМ.

Ещё несколько лет назад многие специалисты достаточно осторожно оценивали перспективы замещения углеводородной энергетики возобновляемыми источниками.⁵² Но стремительные темпы роста технологий ВИЭ всё больше подтверждают реальность трансформации существующей энергетической системы. Поэтому страны БСМ стали проводить политику интеграции ВИЭ в единую энергосистему, объединяющую весь комплекс возникающих энергетических проблем для обеспечения её устойчивого развития путем оптимального баланса между возобновляемой и традиционной энергетикой.⁵³

Политические решения и рыночная интеграция. В 2009 году государства ЕС во главе со странами БСМ приняли Директиву 2009/28/ЕС⁵⁴, в которой была определена цель «20-20-20»: к 2020 году обеспечить снижение выбросов CO₂ на 20%, увеличить долю ВИЭ в конечном потреблении энергии до 20 % и повысить энергоэффективность на 20%. В рамках этого документа в каждой стране-участнице ЕС были разработаны Национальные планы развития возобновляемой энергетики к 2020 году, что привело к её быстрому росту в странах БСМ. Уже к 2013 году доля ВИЭ в энергопотреблении увеличилась в Германии с 1,9 % до 9,1 %, в Великобритании с 0,7 % до 5,4 % и во Франции с 0,4 % до 2,4 %.⁵⁵ Германия стала мировым лидером перехода к «зеленой энергетике» по программе

⁵² Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. Бушуева В.В. (ИЭС), Каламанова В.А. (МЦУЭР). – М.: ИД Энергия. - 2011.- 360 с.; Дешевая нефть может подорвать планы ЕС по использованию альтернативных видов энергии. ТАСС.[URL:http://tass.ru/ekonomika/1608912](http://tass.ru/ekonomika/1608912) (дата обращения 12.08.2018) ; Горлов А.А. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в странах бассейна Северного моря // Энергетическая политика. - 2015. - №4. - С.68-78

⁵³ Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14); Горлов А.А. Экономика возобновляемой энергетики стран бассейна Северного моря // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014. - №5 - С.2-12

⁵⁴ Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF> (дата обращения 12.06.2018)

⁵⁵ Technology Roadmap Solar Thermal Electricity. The International Energy Agency. [URL:https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology_roadmap_solar_thermal_electricity_2014_edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology_roadmap_solar_thermal_electricity_2014_edition.pdf) (дата обращения 12.08.2017) ; BP Statistical Review of World Energy. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>(дата обращения 19.01.2019)

«Энергетическая революция» (Energiewende)⁵⁶, в соответствии с которой к 2020 году в стране планировалось вырабатывать от ВИЭ до 30% электроэнергии и до 14% тепловой энергии. Последовательная политика ЕС была закреплена в Дорожной карте развития ВИЭ (REmap)⁵⁷, согласно которой государства ЕС во главе со странами БСМ планировали к 2030 году удвоить долю ВИЭ в общем объеме конечного потребления до 34%, что должно способствовать достижению целей климатической политики. Планировалось также перевести весь транспортный сектор на электричество и биотопливо, ускоренное развитие производства электроэнергии от солнечных и ветровых технологий ВИЭ, более широко использование ВИЭ в секторе обеспечения теплом и холодом.

Кроме принятия различных политических решений и нормативных актов, большое значение для процессов замещения в странах БСМ имеют рыночная интеграция и меры экономической поддержки инновационной возобновляемой энергетики.⁵⁸ Например, с 2007 по 2013 годы было выделено около \$651 млрд. инвестиций, что обеспечило значительное увеличение доли ВИЭ в структуре энергопотребления.⁵⁹ Также широко использовались различные инструменты государственной финансовой поддержки, такие, как компенсационные закупочные тарифы, льготные кредиты и гранты, налоговые льготы и освобождения и т.п. Все это привело к тому, что уже в 2014 году 79% от всех введенных в эксплуатацию генерирующих мощностей относились к альтернативной энергетике.⁶⁰ Политические решения о снижении доли углеводородных энергоресурсов, а также отказа от угольной и атомной энергетики, связаны с экологическими угрозами глобального потепления. В

⁵⁶ Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14)

⁵⁷ REN21 – Renewables 2014 Global Status Report. Paris.

URL:http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (дата обращения 12.08.2017)

⁵⁸ Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. Бушуева В.В. (ИЭС), Каламанова В.А. (МЦУЭР). – М.: ИД Энергия.- 2011.- 360 с.; Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14)

⁵⁹ Ауре. J. BNEF: Europe To Invest \$1 Trillion Into Renewables By 2030. URL:<http://cleantechnica.com/2014/07/14/bnef-europe-invest-1-trillion-renewables-2030> (дата обращения 11.03.2017)

⁶⁰ REN21 – Renewables 2014 Global Status Report. Paris.

URL:http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (дата обращения 12.08.2017)

государствах ЕС были утверждена цель - уменьшить к 2050 году выбросы парниковых газов на 80–95% от уровня 1990 года.⁶¹ В целом, требования климатической политики становятся для глобальной традиционной энергетики серьезным вызовом и ведут к значительным экономическим потерям в этом секторе.

Особенности системной интеграции ВИЭ. Развитие возобновляемой энергетики в странах БСМ характеризуется общей технологической системной интеграцией : внедрением интеллектуальных электрических сетей (SmartGrid) ; распространением автономных энергоблоков распределенной генерации ; развитием новых технологий дальней передачи электроэнергии на расстояния до 2500 км и т.п.⁶² Так, страны БСМ инвестировали около 30 млрд. евро на создание к 2030 году интеллектуальной сети в Северном море, которая позволит объединить береговые ВИЭ и традиционные электростанции стран БСМ с морскими установками энергии ветра и нефтегазовыми платформами. Ещё одним системным проектом стран БСМ является развитие технологии производства газа из воды P2G (Power-to-Gas) за счет электроэнергии, вырабатываемой ВИЭ. Реализация проекта P2G позволит использовать избыток электроэнергии, произведенной от ВИЭ , без специальных накопителей. Страны ЕС уже имеют развитую инфраструктуру для транспортировки и хранения природного газа, которая может быть с успехом использована для «зеленого» газа. Только в Германии емкости сетей, трубопроводов и хранилищ газа могут обеспечить около 200 ТВт-час, что достаточно для удовлетворения потребности страны газом в течение нескольких месяцев. В странах БСМ уже создаются заводы для выработки газа по технологии P2G.⁶³ Страны БСМ стремятся создать единую

⁶¹ Сидорович В. Европейская электроэнергетика планирует стать углеродно-нейтральной задолго до 2050 г . URL: <http://renen.ru/the-european-electricity-industry-is-planning-to-become-carbon-neutral-well-before-2050> (дата обращения 11.02.2019)

⁶² Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14); Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. В.В. Бушуева (ИЭС), В.А. Каламанова (МЦУЭР). – М.: ИД Энергия, 2011.- 360 с.; Горлов А.А. Экономика возобновляемой энергетики стран бассейна Северного моря // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014. - №5 - С.2-12

⁶³ Bringing Variable Renewable Energy Up to Scale. Options for Grid Integration Using Natural Gas and Energy Storage// ESMAP&The World Bank.-2015.- 87 p.; МеденН.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14)

интегрированную структуру из установок традиционной и альтернативной энергетики для повышения уровня энергобезопасности и снижения потребления импортных, в том числе и российских углеводородов. Одной из важнейших проблем является необходимость оптимальной интеграции в энергетическую систему солнечных и ветровых ВИЭ, переменчивая генерация которых зависит от нестабильных погодных условий. Для повышения гибкости всей системы в этом случае используются различные инструменты управления спросом и производством электроэнергии за счет подключения в необходимые моменты накопителей энергии, резервных источников и распределенных потребителей энергии.⁶⁴ Большие возможности в этом смысле имеют цифровые технологии совместно с резервными газотурбинными установками, которые, при снижении генерации ВИЭ, в течении десятков минут подключаются к сети,⁶⁵ Это выгодно отличает их от угольных и атомных установок, время достижения полной нагрузки которых составляет около 12 часов. Очевидно, что увеличение масштабов использования ВИЭ потребует дополнительных поставок природного газа в страны БСМ. В периоды снижения выходной мощности ВИЭ к сети могут также подключаться различные блоки хранения энергии (серно-натриевые и литий-ионные аккумуляторы, сверхпроводящие магнитные устройства и т.п.), которые накапливают её в периоды излишков генерации.

Снижение цен на производство электроэнергии от ВИЭ. Стоимость производства электроэнергии от ВИЭ ежегодно уменьшалась и согласно данным инвестиционного банка Lazard нормированная приведенная стоимость электроэнергии LCOE (Levelized Cost of Energy) от ветровых ВИЭ уже к 2014 году не превышала \$0,081/кВт-ч, в то время как стоимость угольной генерации находилась в пределах от \$0,066 до \$0,151 /кВт-ч, а газовой генерации – от \$0,061 до \$ 0,087 /кВт- ч.⁶⁶ В 2011 году ведущие российские специалисты

⁶⁴ Next Generation Wind and Solar Power. OECD/ IEA.

URL:<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/NextGenerationWindandSolarPower.pdf> (дата обращения 12.08.2017)

(дата

⁶⁵ Bringing Variable Renewable Energy Up to Scale. Options for Grid Integration Using Natural Gas and Energy Storage// ESMAP&The World Bank.-2015.- 87 p.;

⁶⁶ Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

считали, что ВИЭ в развитых странах мира только к 2030 году станут конкурентоспособными с традиционной энергетикой.⁶⁷ Но, реальность процессов замещения быстро опережает эти прогнозы. Себестоимость солнечной электроэнергии уже в 2014 году была сравнима ископаемыми ресурсами при самых низких ценах газа на уровне \$5,0 /МБТЕ и на нефти – \$10 за баррель.⁶⁸ Компанией Ernst & Young et Associés прогнозировалось к 2020 году снижение LCOE для морских ВЭУ на 20% , что позволило бы им уже конкурировать с традиционной энергетикой.⁶⁹ Но, в реальности, в странах БСМ это произошло гораздо раньше, уже в 2017 году. Исследования Агентства по возобновляемой энергии (IRENA) показали , что за период с 2010 по 2016 год LCOE фотоэлектрических (PV) технологий снизилась на 69 % и LCOE береговых ВЭУ также сократились на 18%.⁷⁰ Уже 2017 году в ценовой диапазон генерации электроэнергии углеводородной энергетикой попали многие проекты береговых ВЭУ (\$ 0,06 /кВт- ч), гидроэнергетики (\$ 0,05/кВт - ч) , геотермальных установок и биомассы (\$ 0,07/кВт-ч). Проведенные в 2017 году аукционы в странах БСМ привели к снижению LCOE СЭС и береговых ВЭУ до \$ 0,03 /кВт-ч и показали, что издержки на проекты оффшорной ветроэнергетики, начиная с 2020 года могут быть в диапазоне \$ 0,06-0,10/кВт-ч (Рис.1.7). Такая стоимость электроэнергии позволит технологиям ВИЭ в ближайшем будущем успешно замещать традиционную энергетику даже без субсидирования.

⁶⁷ Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. Бушуева В.В. (ИЭС), Каламанова В.А. (МЦУЭР). – М.: ИДЭнергия. -2011.- 360 с.;

⁶⁸ Financing the Future of Energy. A report for the National Bank of Abu Dhabi by the University of Cambridge and PwC. URL: https://www.mesia.com/wp-content/uploads/2017/09/FOE_Full_Report.pdf (дата обращения 12.01.2018) ; Renewable Power Generation Costs in 2014.

URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf(дата обращения 12.05.2017)

⁶⁹ Offshore wind in Europe. Walking the tightrope to success / Ernst & Young et Associés. URL: <https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf>(дата обращения 14.04.2017)

⁷⁰ Renewable Power Generation Costs in 2017 , IRENA. URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf (дата обращения 12.02.2019)

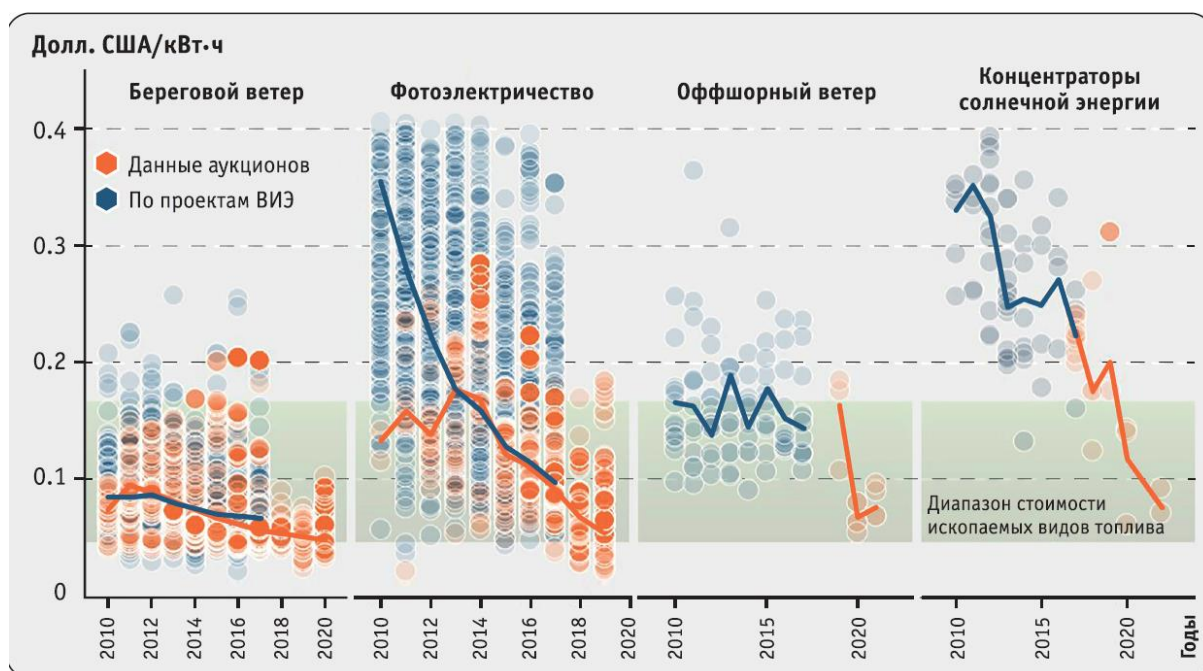


Рисунок 1.7 - Динамика LCOE с 2010 по 2022 годы для различных видов ВИЭ (слева направо – береговые ВЭУ, фотоэлектричество, оффшорные ВЭУ, концентраторы солнечной энергии (красный цвет – данные аукционов, синий цвет – данные проектов))
 Источник: RenewablePowerGenerationCostsin 2017, IRENA. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf (дата обращения 12.02.2019)

Основными причинами снижения LCOE являются постоянное совершенствование технологий, конкурсные закупки проектов ВИЭ и международная кооперация в области НИОКР. По сценарию Международного энергетического агентства (IEA) солнечная и ветровая энергетика уверенно выйдут на первое место среди всех источников энергии к 2040 году.⁷¹

Всеобщая электрификация экономики. В 2013 году 144 стран мира приняли программу расширения производства электроэнергии от ВИЭ (REN 21).⁷² А в 2017 году 3500 энергетических компаний ЕС, входящих в Союз электроэнергетики (Eurelectric), приняли обязательства выполнять комплекс мероприятий по расширению масштабов использования электроэнергии с целью ускорения трансформации энергетики стран ЕС, отказа от углеводородов к 2040

⁷¹ Technology Roadmap Solar Thermal Electricity. The International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-solar-thermal-electricity-2014-edition.pdf> (дата обращения 12.08.2018)

⁷² REN21 – Renewables 2014 Global Status Report. Paris. URL: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf (дата обращения 12.08.2017)

году и перехода к экологически чистой экономике.⁷³ Участники этого Союза решили активно продвигать стратегию широкой электрификации в различных секторах мировой экономики (в бытовом, в промышленности, на транспорте, в теплоснабжении и т.п.), а также использования цифровых технологий для управления спросом и потреблением энергии, децентрализации процессов генерации и повышения устойчивости сетей. В конце 2017 года только береговые и оффшорные ветровые ВИЭ обеспечили выработку электроэнергии в два раза большую, чем атомные станции. Доля ВИЭ в производстве электроэнергии в Германии составляла в 2016 году 29%, а за 2017 год выросла до рекордных 33,1%, в то время как доля генерации угольной энергетикой снизилась до 37%. Уже в начале 2018 года в течение нескольких часов спрос на электроэнергию в Германии был обеспечен ВИЭ почти на 100% и ожидалось, что в течение 2018 года производство от ВИЭ превысит долю угольного сектора.⁷⁴

Цифровая энергетика. В последние годы, центральную роль в процессах трансформации, совместно с широкой электрификацией, стали играть также цифровые энергетические технологии⁷⁵, инвестиции в которые растут ежегодно примерно на 20%. В 2016 году они составили около \$47 млрд., что стало на 40% больше, чем инвестиции в газовую генерацию электроэнергии. Цифровая энергетика позволяет повышать гибкость всей энергосистемы и её безопасность, снижает общие издержки на все источники электроэнергии. Цифровизация обеспечивает оптимальную связь между спросом и потреблением энергии, повсеместную интеграцию, как локальных маломощных источников энергии, например, фотоэлектрических панелей в домохозяйствах, так и локальных точек зарядки электротранспорта, питания многочисленных мобильных телефонов, гаджетов и бытовых электроприборов. Экономия от внедрения цифровизации в

⁷³ Сидорович В. Европейская электроэнергетика планирует стать углеродно-нейтральной задолго до 2050 г. URL: <http://renew.ru/the-european-electricity-industry-is-planning-to-become-carbon-neutral-well-before-2050> (дата обращения 11.02.2019)

⁷⁴ Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2018 году. URL: <https://www.dw.com/ru/возобновляемые-источники-выйдут-на-1-е-место-в-энергетике-фрг-в-2018-году/a-42081787> (дата обращения 14.02.2019)

⁷⁵ Digitalization & Energy/ OECD/IEA, URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> (дата обращения 11.01.2019)

глобальную энергетику обеспечивается за счет сокращения операционных затрат и незапланированных перерывов в энергоснабжении, увеличения длительности эксплуатации оборудования, повышения общей эффективности энергосети и т.п. Объединение энергетических и информационных цифровых сетей в различных секторах мировой экономики (бытовом, транспортном, жилищно-строительном, индустриальном, информационно-коммуникационном) (Рис.1.8), происходит в



Рисунок 1.8 - Структура глобальной технологической цифровой энергетики, объединяющей различные сектора мировой экономики

Источник: Digitalization & Energy. OECD/IEA. URL:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> (дата обращения 11.01.2019)

соответствии с концепциями пятого технологического уклада и четвертой промышленной революции и позволит получить только на начальном этапе экономию средств в размере \$270 млрд.⁷⁶ На глобальный жилищно-строительный сектор приходится более 55% мирового спроса на электроэнергию и цифровая энергетика, в сочетании с технологиями «умный дом», позволит сократить её потребление примерно на 10%. Значительное ускорение процессов

⁷⁶ Digitalization & Energy/ OECD/IEA,

URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> (дата обращения 11.01.2019)

трансформации и экономию средств обеспечит цифровизация индустриального сектора, на который приходится около 38% мирового потребления энергии и 24% суммарного объема выбросов углекислого газа.⁷⁷ С её помощью кардинально могут измениться сами технологические процессы путем создания широкой сети автоматизированных локальных производств с 3D принтерами. Большие перспективы имеет цифровая энергетика для организации умных комплексов добычи и переработки угольного и нефтегазового сырья, а также управления спросом и потреблением электроэнергии, производимой технологиями переменчивых ВИЭ. На мировой транспортный сектор в настоящее время приходится 28% глобального спроса энергии и 23% выбросов CO₂ в мире. Энергетические информационные сети позволят перейти к повсеместному управлению экологически чистым электрическим транспортом. В ближайшие годы в социально - бытовом секторе ожидается подключение к сети десятков миллиардов различных мобильных электронных устройств и интеллектуальных домашних приборов, которые сами смогут управлять потреблением электроэнергии, а новые инструменты цифровизации, такие, как блокчейн (blockchain), привлекут к торговле электроэнергией широкие массы населения. Всё это будет способствовать развитию распределенных энергоресурсов. Одновременно, существенно увеличивается спрос на электроэнергию самими сетями информационных технологий и центрами их обработки. Уже к 2015 году глобальное потребление электроэнергии Дата Центрами составило около 194 ТВт-ч, а мобильными сетями 185 ТВт-ч.⁷⁸ Однако, следует учитывать, что распространение цифровой энергетике и «Интернета вещей» (Internet of Things) во всех секторах мировой экономики значительно повышает угрозы кибератак различных объектов, риски снижения конфиденциальности и безопасности. Но, несмотря на это, цифровизация совместно с электрификацией будут постоянно

⁷⁷ Digitalization & Energy/ OECD/IEA,

URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> (дата обращения 11.01.2019)

⁷⁸ Digitalization & Energy/ OECD/IEA,

URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> (дата обращения 11.01.2019)

оказывать ускоряющее воздействие на динамику процессов трансформации к новой альтернативной энергетике с глубокими положительными последствиями для всех секторов мировой экономики.

Выводы по первой главе:

1. Выполненное исследование эволюции энергетического сектора мировой экономики показало, что этот процесс происходит в полном соответствии с экономической теорией технологических укладов. В настоящий период времени согласно концепциям пятого уклада и третьей промышленных революций наблюдается рост различных технологий ВИЭ, что, совместно со стремительным развитием накопителей энергии, цифровой энергетики, электрификации транспорта и т.д., обеспечило начало глобальных процессов замещения традиционной энергетики новой альтернативной энергетикой.

2. Рассмотренная классификация первичных ресурсов, как традиционной, так и возобновляемой энергетики, показала их основные общие и индивидуальные характеристики с учетом области применения, способов переработки и т.п. Совместное использование различных ВИЭ и накопителей энергии привело к появлению нового типа энергетических ресурсов, постоянно возрастающих за счет появления и развития различных видов возобновляемых технологий.

3. Выполненные исследования показали рост доли ВИЭ и снижения доли углеводородных ресурсов в энергетическом балансе стран БСМ, а также то, что доля ископаемого топлива ещё большая и заметен рост использования природного газа. Подтверждается влияние внедрения ВИЭ на снижение выбросов CO₂ и использования угля и нефти. Решение стран БСМ о полном отказе от атомных и угольных станций может привести к серьезным проблемам, как для энергетики и экономики, так и для населения этих стран, а также потребует значительного увеличения использования природного газа и импорта электроэнергии.

4. Успешная энергетическая политика позволила странам БСМ поставить цели достижения доли ВИЭ в конечном потреблении энергии до 20 % к 2020

году и 33% к 2030 году в соответствии с климатическими задачами Парижского соглашения (2015). В странах БСМ все возрастает степень рыночной и системной интеграции с целью оптимального баланса между возобновляемой и традиционной энергетикой. Наблюдается внедрение интеллектуальных электросетей, распределенной генерации ВИЭ, развитие технологии P2G производства газа из воды, использование цифровых технологий для повышения гибкости энергосистемы с ВИЭ совместно с резервными ГПТУ и блоками хранения энергии, начало перехода к широкой электрификации различных секторов экономики. Результатом совершенствования технологий является непрерывное снижение цен на электроэнергию от ВИЭ, что уже позволяет возобновляемым технологиям конкурировать с традиционной энергетикой.

ГЛАВА 2. ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ В МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ НА ПРИМЕРЕ СТРАН БСМ

2.1. Факторы влияния первого порядка - государственная энергетическая политика стран БСМ

Особенности развития процессов замещения и их динамика зависят от множества экономических, политических, энергетических, экологических и других факторов, а эффективность этих процессов характеризуется различными индикаторами.⁷⁹ С целью проведения дальнейших исследований целесообразно было укрупнено выделить и систематизировать наиболее значимые факторы и индикаторы.⁸⁰ Следует отметить, что выполненное деление факторов носит достаточно условный характер, в зависимости с какой стороны они рассматриваются (Рис.2.1).

Энергобезопасность. Глобальные процессы замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками были инициированы энергетической политикой ЕС во главе со странами БСМ. Зависимость ЕС от импорта ископаемых ресурсов постоянно растет и к концу 2017 года внешние поставки нефти достигли 90%, природного газа 69%, угля 42% и урана 40%, на что расходуется более 1,0 млрд. евро ежедневно.⁸¹ Начиная с 1990 года, страны БСМ активно участвовали в создании Европейского энергетического сообщества с целью разработки единой политики в области энергетической безопасности и диверсификации поставок энергоносителей. Первые предложения по развитию

⁷⁹ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018); Горлов А.А. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в странах бассейна Северного моря// Энергетическая политика. - 2015. - №4. - С.68-78 ; Боровский,Ю.В. Концептуальные и институциональные аспекты энергетической политики ЕС (1990-2014 гг.) //Вестник МГИМО. -2015. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/kontseptualnye-i-institutsionalnye-aspekty-energeticheskoy-politiki-es-1990-2014-gg> (Дата обращения 18.02.2017)

⁸⁰ Горлова,А.А.А. Факторы влияния на процессы интеграции традиционной и возобновляемой энергетики в странах бассейна Северного моря. XVIII Апрельская международная научная конференция НИУ-ВШЭ .2017. URL:https://events-files-bpm.hse.ru/files/_reports/389FE0BA-C945-4D3D-ADB4-9BC31F854A51/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%90.%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf (дата обращения 14.02.2018)

⁸¹ Energy Security Strategy, European Commission. URL:<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/energy-security-strategy> (дата обращения 14.01.2019)

ВИЭ в ЕС были опубликованы в Белой книге «Энергия будущего: возобновляемые источники энергии» (1997) и конкретизированы в Зелёной



Рисунок 2.1 – Систематизация факторов, характеризующих процессы замещения традиционной энергетики на ВИЭ в странах БСМ

Составлено автором

книге «Европейская стратегия устойчивой конкурентоспособной и безопасной энергетики» (2006).⁸² Огромное значение имело также принятие в 2007 году

⁸² A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy/Green Paper EC. URL: http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com2006_105_en.pdf (дата обращения 12.08.2017)

Стратегического плана энергетических технологий - SET (Stategic Energy Technologies Plan), обеспечившего целевое инвестирование НИОКР по всем направлениям ВИЭ.⁸³ Общая политика энергетической безопасности ЕС, как единого Союза государств-членов под руководством Европарламента, была закреплена Лиссабонским Договором (2007).⁸⁴ основополагающим документом развития ВИЭ в ЕС стала упомянутая в первой главе Директива ЕС 2009/28/ЕС (2009 год)⁸⁵, где были установлены целевые показатели развития энергетики на 2020 год, к которому доля использования ВИЭ в электроэнергетике ЕС должна достигнуть 34%, в теплоснабжении до 21% и до 10% в транспортном секторе. Производство первичной энергии от ВИЭ к этому году должно составить 243 Мт.н.э., а производство «зеленой» электроэнергии 104 Мт.н.э.⁸⁶ В 2011 году была разработана «Энергетическая дорожная карта до 2050 года», где впервые были определены амбициозные планы ЕС на долгосрочную перспективу, связанные с энергобезопасностью и сохранением окружающей среды, в частности, повышение доли ВИЭ в электроэнергетике до 97% через 40 лет.⁸⁷ В 2013 году, в Зелёной книге «План действий в области борьбы с изменением климата и энергетики до 2030 года», были определены новые цели ЕС - довести к 2030 году долю ВИЭ в конечном энергопотреблении до 27% и снизить выбросы парниковых газов на 40%.⁸⁸ В работе М.В.Дакалова отмечается⁸⁹, что уже к 2014 году в ЕС была разработана самая полная и эффективная в мире нормативно-правовая база по ВИЭ, различные общие и национальные планы,

⁸³ EU R&D funding for Low Carbon Energy Technologies. Analysis of the distribution of 2007-2013 commitments. URL: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99158/commitmentanalysis2007-2013bnl09122015.pdf> (дата обращения 11.07.2018)

⁸⁴ Treaty of Lisbon . Amending the Treaty on European Union and the Treaty Establishing the European Community . URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8d1c14fc-6be7-4d4e-8416-f28cfc7b3b60.0006.01/DOC_1&format=PDF (дата обращения 18.05.2018)

⁸⁵ Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF> (дата обращения 12.08.2017)

⁸⁶ Ермоленко Г.В . и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

⁸⁷ Energy roadmap 2050 . Communication from the Commission to the European Parliament , the Council , the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF> (дата обращения 15.06.2017)

⁸⁸ A 2030 framework for climate change and energy policies . Green Paper . European Commission . Brussels. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:EN:PDF> (дата обращения 12.08.2017)

⁸⁹ Дакалов М.В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС: автореферат дис. ... канд. экон. наук:08.00.14. – М.- 2015.- 204 с.

заклучения, решения, регламенты, стандарты и рекомендации Еврокомиссии, что обеспечило быстрое и уверенное развитие ВИЭ. Интересно отметить, что ещё в 2015 году этот же автор утверждал, что целевые показатели ЕС на 2020 год по возобновляемой энергетике не смогут быть достигнуты, если цены на нефть будут ниже \$80/баррель и, если будет прекращено государственное субсидирование. Но это предположение, также как и аналогичные заявления других специалистов, не подтвердилось. Несмотря на гораздо более низкие цены на нефть после 2015 года и частичный переход проектов ВИЭ уже на рыночное, конкурентное инвестирование, в странах БСМ наблюдался быстрый рост установленной мощности и производства энергии от ВИЭ.⁹⁰ В исследовании Международного агентства по ВИЭ – IRENA (2018) показано ⁹¹, что широко используя технологии ВИЭ во всех секторах экономики ЕС, можно добиться не только запланированной к 2020 году 20% доли ВИЭ и заявленной на 2030 год новой 27% доли ВИЭ в энергопотреблении ⁹², а уже удвоить эту долю ВИЭ примерно с 17% в 2015 году до 34% в 2030 году. Согласно разработанной «Дорожной карте ВИЭ» (REmap) к этому году планируется рост солнечной и ветровых установок до 270 ГВт по каждой технологии, а также ожидается существенное увеличение установленной мощности морских ВЭУ (свыше 72 ГВт), которые становятся драйвером дальнейшего роста ВИЭ в бассейне Северного моря.⁹³ Важным является планируемый рост использования ВИЭ в конечном потреблении энергии стран БСМ, для чего нами были выполнены оценки этого параметра в национальных целевых показателях на 2020 год и по сценарию REmap на 2030 год, по сравнению с данными за 2015 год (Рис.2.2). Если в 2010 году производство электроэнергии в ЕС обеспечивалось углем, газом и ядерным топливом на 80%, а ВИЭ только на 12%, то по сценарию REmap

90 Воздвиженская, А. Луч света в углеводородном царстве // Российская газета- №265 - 2016. URL: <https://rg.ru/2016/11/22/v-mire-zafiksirovan-rekordnyj-prirost-moshchnostej-v-zelenoj-energetike.html> (дата обращения 14.06.2017)

91 Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

92 A 2030 framework for climate change and energy policies . Green Paper. European Commission . Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:EN:PDF> (дата обращения 12.08.2017)

93 Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

уже свыше 40% генерации к 2030 году должно быть от ВИЭ, в том числе и в большинстве стран БСМ (Рис.2.3).

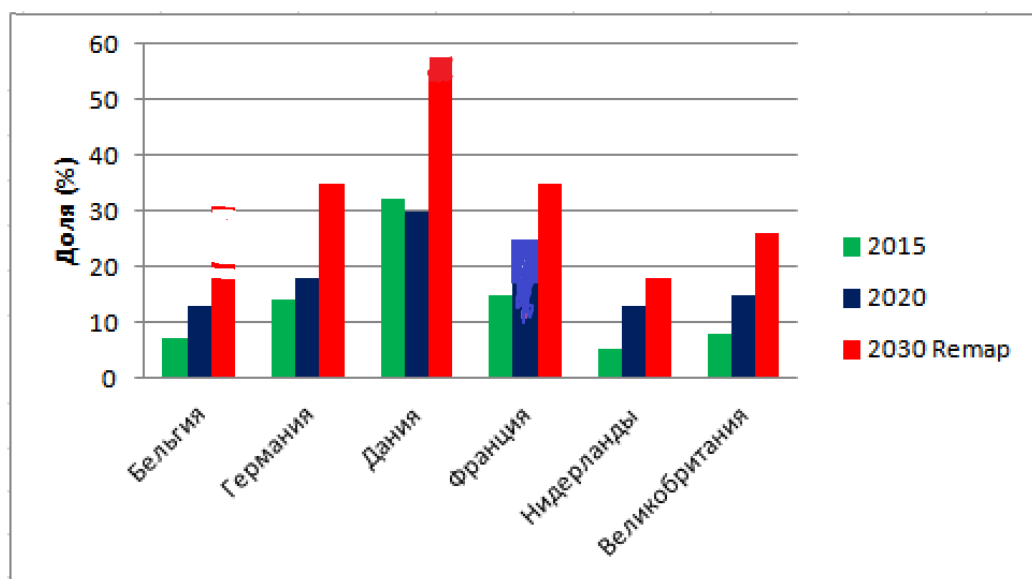


Рисунок 2.2 - Доля возобновляемой энергии в конечном потреблении энергии странами БСМ в 2015 году, цель на 2020 год и прогноз на 2030 год по сценарию с REmap Составлено автором по данным: Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU) URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

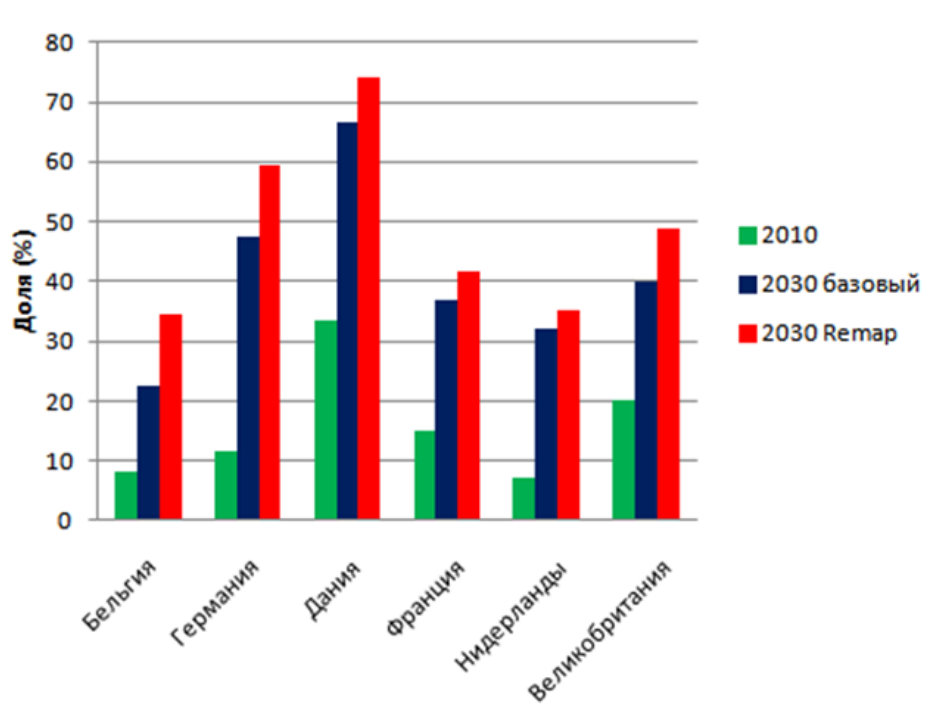


Рисунок 2.3 - Доля ВИЭ в конечном производстве электроэнергии странами БСМ в 2010 году и в 2030 году (базовый сценарий по сравнению с REmap). Составлено автором, источник: Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU) URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

Наибольшей доли использования ВИЭ, до 50%, можно достигнуть при выполнении сценария REmapE (Electrification), с максимальной электрификацией всех секторов экономики (жилищного, транспортного, промышленного, строительного и других).⁹⁴ В настоящее время углеводородное топливо обеспечивает около 71% потребления первичной энергии ЕС, а внедрение ВИЭ по базовому сценарию позволит сократить эту величину к 2030 году до 62% и по сценарию REmap уже до 54%. Ускоренное развертывание технологий ВИЭ по сценарию REmap позволит сократить по сравнению с базовым сценарием потребление угля на 19%, нефти на 14% и газа на 12%.⁹⁵ Основные задачи и показатели «Дорожной карты REmap» на 2030 год уточняются и согласовываются со всеми странами ЕС, а утверждение документа должно было произойти в течение 2019 года, что определит перспективы энергобезопасности и трансформации энергетического комплекса стран БСМ на среднесрочный период.

Энергоэффективность. Политика энергоэффективности направлена на уменьшение общих затрат энергии в различных секторах экономики ЕС, что позволяет также снизить энергозависимость стран и улучшить окружающую среду. Одними из первых важных документов в этом направлении стали Директивы от 2002 и 2010 годов по энергоэффективности зданий - EPBD (Energy Performance of Buildings Directive).⁹⁶ В соответствии с Директивой от 2002 года все страны ЕС должны были осуществить обязательную сертификацию зданий на энергоэффективность, разработать единые методики оценки энергетических параметров сооружений, проводить регулярные проверки их теплового и охлаждающего оборудования. Утвержденное Директивой от 2010 года «Обновление EPBD», ввело энергетические паспорта зданий и штрафы за нарушения требований по энергоэффективности, обязательства для стран ЕС

⁹⁴ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

⁹⁵ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

⁹⁶ Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32010L0031> (дата обращения 12.08.2017)

ввести финансовые стимулы для повышения энергоэффективности сооружений. Кроме того, все страны ЕС, начиная с 2021 года, должны будут строить новые здания, обеспечивающие минимальное потребление энергии (nZEB - nearly zero-energy buildings) и её производство от ВИЭ в самом сооружении. Директива от 2012 года⁹⁷ предписывала государствам ЕС обеспечивать экономию энергии на всех этапах: генерации, передачи и потребления, как в индустриальном секторе, так и в секторе домохозяйств. С этой целью всеми странами должны выполняться следующие требования⁹⁸: выполнение электросбытовыми компаниями ежегодного энергосбережения на 1,5% ; обеспечение только энергоэффективных госзакупок; обеспечение ежегодных работ по повышению энергоэффективности сооружений, объемом не менее 3% от их общей площади в стране; обеспечение потребителей информацией о всех их расходах энергии; выполнение повсеместного мониторинга и аудита энергопотребления, как малыми и средними , так крупными компаниями. В 2015 году Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) всесторонне рассмотрела передовой опыт политики энергоэффективности для стран ЕС.⁹⁹ В документе отмечается , что в соответствии с объявлением периода с 2014 года по 2024 год «Десятилетием устойчивой энергетики для всех» и инициативой ООН «Устойчивая энергетика для всех» (SE4All) , энергетическая политика ЕС должна одновременно развиваться в трех направлениях: всеобщего доступа к современным услугам в области энергетики, увеличению к 2030 году в два раза темпов повышения энергоэффективности и удвоению доли ВИЭ. Также подчеркивается , что именно эффективность является «первым топливом» экономики, так как она обеспечивает наиболее полное использование ресурсов, оздоровление окружающей среды, сокращение затрат на энергию и экономический рост, а также значительное

⁹⁷ Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency . URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:315:FULL&from=EN> (дата обращения 11.10.2017)

⁹⁸ Кужелева К.С. , Грачев Б.А. Энергетическая политика ЕС в области энергоэффективности //Энергосовет,- № 1 (51), URL: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=694 (дата обращения 11.10.2018)

⁹⁹ Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. URL: <http://www.energyefficiencycentre.org/media/Sites/energyefficiencycentre/Publications> (дата обращения 15.11.2018)

повышение производительности и благосостояния.¹⁰⁰ Для достижения 2020 года общего показателя энергоэффективности 20% страны – члены ЕС разработали и внедрили Национальные планы действий в области энергоэффективности – (NEEAP), оценки которых уже к 2012 году показали, что в среднем по ЕС энергопотребление снизилось на 17%.¹⁰¹ За период с 2000 по 2012 год все страны БСМ продемонстрировали темпы роста энергоэффективности более 1% в год: так, Германия - 1,3%, Франция - 1,4%, Великобритания - 2,0%. В Германии в соответствии с NEEAP планируется снижение общей первичной энергии потребления к 2020 году на 12,5% по сравнению с 2008 годом (с 314,3 млн. т.н.э. до 273,8 млн. т.н.э.).¹⁰² Основной целью другой инициативы ЕС - пакета мер по повышению конкурентоспособности на новых энергетических рынках (2016)¹⁰³ - является сохранение лидирующей роли стран ЕС, во главе со странами БСМ, в процессах трансформации энергетического сектора, для чего предлагается уделить больше внимания энергоэффективности. Ожидается ежегодная экономия от 175 до 320 млрд. евро расходов на топливо в течение последующих лет после 2020 года.¹⁰⁴ Обновление EPBD (Директив ЕС по энергоэффективности) было проведено в рамках нового пакета ЕС «Чистая энергия для всех европейцев» (2017)¹⁰⁵, в котором была поставлена цель повышения энергоэффективности на 30% уже к 2030 году, а также предложена замена осмотров зданий на системы автоматического контроля, развертывание инфраструктурных сетей для электрического транспорта и финансирование сертификации энергоэффективности. В документе были также утверждены обязательства доведения к 2050 году всех зданий ЕС до уровня нулевого потребления энергии

¹⁰⁰ Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. URL: <http://www.energyefficiencycentre.org/-media/Sites/energyefficiencycentre/Publications> (дата обращения 15.11.2018)

¹⁰¹ Национальные планы действий в области энергоэффективности и годовые отчеты. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive/national-energy-efficiency-action-plans> (дата обращения 17.06.2017)

¹⁰² National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2017 for the Federal Republic of Germany. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/de_neeap_2017_en.pdf (дата обращения 11.10.2018)

¹⁰³ Commission proposes new rules for consumer centered clean energy transition. URL: <https://www.kcgppartners.com/commission-proposes-new-rules-consumer-centered-clean-energy-transition> (дата обращения 15.01.2019)

¹⁰⁴ 2050 long-term strategy. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (дата обращения 12.02.2019)

¹⁰⁵ European Commission/Clean energy for all. The revised Renewable energy Directive. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/technical_memo_renewables.pdf (дата обращения 11.02.2018)

(nZEB), что должно обеспечить значительное снижение зависимости от импорта ископаемого топлива. Следует учитывать, что на здания приходится до 40% общего потребления энергии и что её экономия на 1% снижает импорт газа на 2,6%.¹⁰⁶ Кроме того, сегодня со зданиями связано около 36% выбросов парниковых газов в ЕС, поэтому решение о обеспечении уровня nZEB к 2050 году позволит решить главную задачу снижения выбросов CO₂ на 80-95% к этому времени.¹⁰⁷

Климатическая политика. После выхода в 1990 году первого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) государства - члены ЕС договорились о сокращении выбросов парниковых газов, развитии ВИЭ и повышении энергоэффективности.¹⁰⁸ В 1992 году было решено проводить ежегодные международные конференции COP (Conference of the Parties) под эгидой ООН по предотвращению негативных последствий глобального изменения климата. На конференции COP3 в городе Киото (1997) были впервые определены международные механизмы сокращения выбросов парниковых газов на период с 2008 по 2012 год, в частности, обязательства их глобального снижения на 5,2% за этот период по сравнению с уровнем 1990 года и правила международной торговли выбросами ETS (Emissions Trading System). В 2007 году главы государств ЕС согласовали обязательства сократить выбросы парниковых газов на 20% к 2020 году по сравнению с уровнем 1990 года.¹⁰⁹ План реализации обязательств был представлен в документе «Климатический и энергетический пакет» (2008), где центральную роль отводилось Директиве по развитию ВИЭ (ESD).¹¹⁰ В 2015 году состоялась Парижская климатическая

¹⁰⁶ European Commission/Clean energy for all . The revised Renewable energy Directive . URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/technical_memo_renewables.pdf (дата обращения 11.02.2018)

¹⁰⁷ Energy roadmap 2050 . Communication from the Commission to the European Parliament , the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF> (дата обращения 15.06.2017)

¹⁰⁸ Fouqueta R. Lessons from energy history for climate policy/Centre for Climate Change Economic and Policy . URL: <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/09/Working-Paper-209-Fouquet.pdf> (дата обращения 15.06.2017)

¹⁰⁹ European Council, Presidency Conclusions — Brussels 8/9 March 2007, Council of the European Union. URL: https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/93135.pdf (дата обращения 12.08.2017)

¹¹⁰ Decision 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Effort of Member States to Reduce their Greenhouse Gas Emissions to Meet the Community's Greenhouse Gas Emission Reduction Commitments

конференция ООН (COP21), в которой участвовали около 200 государств и где было достигнуто соглашение о замене документов Киотского протокола на более радикальные решения, а также было принято предложение об обязательном ограничении роста глобального потепления средней температурой до 2°C, а в перспективе до 1,5°C по сравнению с доиндустриальным уровнем, определяемым началом первой промышленной революции.¹¹¹ Соглашение вступило в силу после его ратификации в конце 2016 года более 55% странами-участниками, на долю которых приходится не менее 55% глобальных выбросов газов, в первую очередь странами БСМ и остальными государствами ЕС (12,1% мировых выбросов CO₂).¹¹² Главными отличиями Парижского соглашения от Киотского протокола стало то, что оно распространяется на все страны мира, как развитые, так и развивающиеся; оно не содержит конкретных количественных обязательств по снижению выбросов газов, которые теперь должны определяться добровольно национальными планами стран. В соглашении не прописаны меры принуждения по исполнению его решений, но предусматривается право международных экспертов проверять информацию стран о выполненных ими климатических мероприятиях. Все страны, ратифицировавшие Парижское соглашение, каждые пять лет должны пересматривать свои национальные планы по сокращению выбросов - INDC (Intended Nationally Determined Contributions) и согласовывать их с глобальными установленными величинами. В рамках INDC экономисты должны разрабатывать планы диверсификации энергетического сектора различных стран с целью снижения вероятных рисков, а крупные инвесторы, энергетические и промышленные концерны пересматривают свои стратегии развития. Большое значение имело решение стран наладить международный обмен технологиями в сфере ВИЭ, энергоэффективности, электрификации различных секторов экономики. Соглашение COP21 является первым важным

up to 2020, OJ L140, 5.6.2009. URL:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&from=EN> (дата обращения 11.06.2017)

¹¹¹ О чем договорились на конференции по климату в Париже URL:<https://altenergiya.ru/novosti/o-chem-dogovorilis-na-konferencii-po-klimatu-v-parizhe.html> (дата обращения 11.08.2018)

¹¹² Евросоюз ратифицировал Парижское соглашение по климату, URL: <https://scientificrussia.ru/articles/evrosoyuz-ratifikiroval-parizhskoe-soglashenie-po-klimatu> (дата обращения 11.08.2018)

шагом в процессе определения реальной компенсации ущерба от роста глобального потепления. Однако, в документе была названа, но не была прописана юридически обязательной, сумма \$100 млрд. ежегодных взносов развитых стран в Зеленый климатический фонд для помощи странам третьего мира ускорить процессы энергетической трансформации.¹¹³ Большое экономическое и экологическое значение имеет предложение конференции COP21 о формировании единой системы учёта использования углеродных ресурсов всеми без исключения государствами мира и о том, что большая часть мировых запасов угля, нефти и газа должны оставаться в земле, а не использоваться в энергетике. Однако, в документе допускается исключение для стран, которые способны компенсировать выбросы парниковых газов поглощением CO₂ имеющимися лесами. К ускорению процесса ратификации Парижского соглашения значительные усилия приложили страны БСМ и страны ЕС в целом, которые определили собственные амбициозные цели - сокращение выбросов газов в ЕС относительно 1990 года более 40% к 2030 году и обеспечение нулевого уровня выбросов ко второй половине нашего века.¹¹⁴ Следующая конференция COP22 (Марокко, 2016) была посвящена обсуждению мер по дальнейшему продвижению в жизнь глобальных решений Парижского соглашения, однако, значительную неуверенность в планы на будущее внесло заявление президента Д.Трампа о намерении США выхода из соглашения COP21.¹¹⁵ На конференции COP23 (2017, Бонн) было продолжено согласование положений Парижского соглашения с целью начала его практического действия с 2020 года. В преддверие конференции были опубликованы результаты исследования группы авторитетных ученых мира, подтверждающие, что увеличение выбросов парниковых газов ведет к вселенской катастрофе.¹¹⁶

¹¹³ Как ведущие страны собираются выполнять Парижское соглашение по климату. URL: http://rusecounion.ru/klimat_24417 (дата обращения 14.09.2018)

¹¹⁴ Despite Paris Agreement, more ambitious EU emissions target unlikely. URL: <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/despite-paris-agreement-more-ambitious-eu-emission-target-unlikely> (дата обращения 17.06.2018)

¹¹⁵ Climate action facing stronger headwinds at COP22. URL: <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/climate-action-facing-stronger-headwinds-at-cop22> (дата обращения 12.05.2018)

¹¹⁶ В Германии открылся Всемирный климатический саммит ООН. URL: <https://rg.ru/2017/11/06/v-germanii-otkrylsia-vsemirnyj-klimaticheskij-sammit-oon.html> свободный (дата обращения 11.03.2018)

Важной инициативой COP23 стало учреждение Альянса постугольной энергетики (Powering Past Coal Alliance), в который вошли 25 стран и регионов мира, в том числе почти все страны БСМ во главе с Великобританией. За счет сжигания угля, загрязняющего атмосферу, производится около 40% глобальной электроэнергии и страны, входящие в Альянс, решили полностью отказаться от финансирования и использования угольных электростанций без технологий улавливания CO₂ и вредных веществ.¹¹⁷ Следует отметить, что Германия пока не стала присоединяться к Альянсу, несмотря на лидирующую роль в развитии ВИЭ и собственные цели достигнуть 79% в производстве возобновляемой электроэнергии к 2040 году.¹¹⁸ Другим важным событием конференции COP23 оказалась инициатива неправительственной группы США, состоящей из более 20 штатов, 100 городов и 1500 крупных компаний, во главе с миллиардером М. Блумбергом, обеспечивающей общие климатические обязательства около \$10 трлн.¹¹⁹ Эта инициатива открыла дорогу новому мощному глобальному направлению финансирования «зеленой энергетики», взамен практики государственного субсидирования, за счет подключения к ней всё новых инвесторов (регионов, городов, компаний и корпораций, фондов, банков и частных инвесторов). Основными на конференции COP23 стали вопросы, связанные с принципами действия новых экономических механизмов. В отличие от Киотского протокола, теперь в национальных планах стран основной мотивацией климатической политики становится рыночная составляющая, возможность продвижения собственных технологий и бизнес-планов в сочетании с достижением ориентиров по выбросам для международных компаний и корпораций.¹²⁰ В конце 2017 года в Париже был проведен дополнительный климатический саммит «One Planet Summit» при участии руководства ООН и

¹¹⁷ Подведены итоги климатической конференции в Бонне COP23. URL: <https://wwf.ru/resources/news/klimat-i-energetika/podvedeny-itogi-cop-23> (дата обращения 10.04.2018)

¹¹⁸ Снижению выбросов парниковых газов ищут мотивацию. Международная климатическая политика приобретает новые экономические очертания. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3473052> (дата обращения 10.02.2019)

¹¹⁹ Подведены итоги климатической конференции в Бонне COP23. URL: <https://wwf.ru/resources/news/klimat-i-energetika/podvedeny-itogi-cop-23> (дата обращения 15.09.2018)

¹²⁰ Снижению выбросов парниковых газов ищут мотивацию. Международная климатическая политика приобретает новые экономические очертания. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3473052> (дата обращения 10.02.2019)

Всемирного Банка, а также представителей 130 стран, включая глав 50 государств.¹²¹ В частности, обсуждалось ускорение перехода от использования углеводородов на транспорте к электродвижению. Важными стали сообщения Всемирного банка, что он с 2019 года отказывается финансировать разработки нефтегазовых месторождений, инвестирует в Фонд основных «зеленых» облигаций \$325 млн. и увеличивает объем инвестиций в климатическую деятельность до \$2,0 млрд.¹²²

На промежуточной конференции по изменению климата (2018, Бонн) значительное время было уделено финансовой политике предотвращения потепления, в частности обсуждался новый финансовый механизм «монетизация ущерба» с привлечением страхового бизнеса. Отмечалось, что климатический ущерб до 2020 года составлял \$50 млрд. ежегодно и может возрасти к 2030 году до \$300 млрд. в год¹²³, поэтому было выдвинуто предложение о вводе «налога на ущерб климату» CDT (Climate Damage Tax) за добычу ископаемых ресурсов, средства от которого должны направляться на трансформацию энергетического сектора развивающихся стран. Ожидается, что CDT позволит получать от \$75 до \$500 млрд. ежегодно и будет стимулировать снижение использования углеводородов. Обсуждались большие риски финансовых вкладов в угольные проекты, что было усилено заявлением в Бонне об отказе от таких инвестиций крупнейшей международной страховой компании «Allianz». Однако, в Бонне было отмечено, что итоговая «книга правил» Парижского соглашения, все же ещё далека до завершения.¹²⁴ Странами БСМ уже к 2013 году было достигнуто сокращение выбросов CO₂: Германией - 95,6 млн. тонн (9 % от общего объема выбросов в стране), Великобританией - 29,5 млн. тонн (5%). Францией - 27,1 млн. тонн (5%), Данией - 8,7 млн. тонн (14%), Бельгией - 8,4 млн. тонн (7%),

¹²¹ Участники саммита в Париже обсудили меры по борьбе с изменением климата. URL:<https://ria.ru/world/20171213/1510790520.html> (дата обращения 18.10.2018)

¹²² World Bank Group Announcements at One Planet Summit. URL:<http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2017/12/12/world-bank-group-announcements-at-one-planet-summit> (дата обращения 11.04.2018)

¹²³ По недописанным правилам. URL:<http://bellona.ru/2018/05/16/po-nedopisannym-pravilam> (дата обращения 12.02.2019)

¹²⁴ По недописанным правилам. URL:<http://bellona.ru/2018/05/16/po-nedopisannym-pravilam> (дата обращения 12.02.2019)

Нидерландами - 5,5 млн. тонн (3%). Развитие ВИЭ обеспечило странами ЕС на 2014 год снижение общих выбросов парниковых газов в объеме 380 млн. тонн.¹²⁵ В 2014 году ЕС согласовал новую цель сокращения выбросов парниковых газов к 2030 году на 40% ниже уровня 1990 года.¹²⁶ По оценкам, выполненным Агентством IRENA¹²⁷, в рамках базового сценария развития ВИЭ к 2030 году выбросы CO₂ в странах ЕС удастся уменьшить только на 31% (до 2740 млн. тонн) по сравнению с 1990 годом, а ускоренное увеличение доли ВИЭ по сценарию REmap обеспечит сокращение выбросов CO₂ уже на 42% от уровня 1990 года. По данным IRENA только в Европе около 400 тыс. человек умирают ежегодно из-за загрязнения воздуха. Учет выгод от предотвращения ущерба здоровью населения и окружающей среде в анализе затрат на ускоренное развитие ВИЭ в ЕС по дорожной карте REmap может обеспечить к 2030 году экономию от \$52 млрд. до \$133 млрд.¹²⁸

Устойчивое развитие. Ведущая роль климатической политики ЕС значительно усилилась на платформе концепции глобального устойчивого развития (sustainable development).¹²⁹ Эта концепция впервые была сформулирована в Докладе «Наше общее будущее» Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития (WCED) в 1987 году. Она подразумевает, что экономическая, социальная и экологическая деятельность человечества должно проходить взаимосвязано, таким путем, когда «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности».¹³⁰ Эта концепция была развита на многочисленных конференциях по устойчивому

¹²⁵ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетике НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

¹²⁶ Commission proposes new rules for consumer centered clean energy transition. <https://www.kcgpartners.com/commission-proposes-new-rules-consumer-centered-clean-energy-transition>

¹²⁷ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

¹²⁸ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 14.09.2018)

¹²⁹ Деденкулов А.В. Евросоюз :эволюция приоритетов энергетической политики. DOI: <http://dx.doi.org/10.15211/soveurope12015116125>

¹³⁰ Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды развития «Наше общее будущее». URL: <http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf> (дата обращения 14.09.2017)

развитию ООН и WCED , среди которых следует особо выделить конференции в Рио-де-Жанейро в 1992 и в 2012 годах , а также саммит в Йоханнесбурге в 2002 году. На очередной конференции ООН (2015, Нью-Йорк) был принят Базовый документ , определяющий цели и задачи устойчивого развития на 15 лет вперед для удовлетворения основных потребностей людей при сохранении систем жизнеобеспечения нашей планеты.¹³¹ Необходимо установить равновесие между жизнедеятельностью человечества и возможностями биосферы, позволяющее максимально использовать возобновляемые ресурсы планеты и обеспечить экономное использование ископаемых ресурсов. Концепция устойчивого развития в настоящее время положена в основу стратегии экологически ответственной мировой экономики, которая рассматривается в контексте экологически безвредных производств, удовлетворяющих общественные и индивидуальные потребности, не оказывая при этом разрушительного воздействия на глобальную экосистему.¹³² Такое понимание стратегии «зеленого» развития легли в основу целей и задач энергетической политики стран БСМ для перехода от высокоуглеродного к низкоуглеродному использованию ресурсов во всех секторах экономики, что определило ускоренный рост различных технологий ВИЭ.¹³³ В последнее время развитие устойчивой энергетики ЕС привлекает к себе все возрастающее внимание финансового и индустриального сообщества , где лидирующее положение занимают Всемирный банк и Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), которые в своей деятельности стали использовать в качестве показателей устойчивого развития « истинные нормы сбережения (инвестиций)».¹³⁴ Ранее, при измерении движения капитала в экономике и энергетике, не учитывался ущерб от истощения

¹³¹ Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН. Преобразование нашего мира. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, URL: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf (дата обращения 11.01.2019)

¹³² Фюкс Р. Зеленая революция: Экономический рост без ущерба для экологии. – М.: Альпина нон-фикшн, URL: <https://www.litres.ru/ralf-fuks/zelenaya-revoluciya-ekonomicheskij-rost-bez-uscherba-dlya-ekolog> (дата обращения 12.08.2018)

¹³³ Проскуракова Л.Н., Ермоленко Г.В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. ВШЭ. URL: https://issek.hse.ru/data/2017/04/04/1168471430/Renova_Energy.pdf (дата обращения 12.04.2018)

¹³⁴ Официальный сайт всемирного банка. URL: <http://www.vsemirnyjbank.org> (дата обращения 12.02.2019)

плодородных земель и сырьевых месторождений, уничтожения лесов, пастбищ и других природных ресурсов, а также целый ряд социальных аспектов, связанные с благосостоянием, здоровьем и обучением населения. Использование истинных норм сбережений и инвестиций позволяет получать намного более справедливые результаты экономических оценок в энергетике, чем по традиционным моделям, в сторону уменьшения за счет потери природного капитала (ущерба окружающей среде) или в сторону увеличения за счет роста человеческого капитала (инвестиций в здравоохранение, образование и т.п.).¹³⁵ Устойчивое развитие энергетики стран БСМ должно обеспечивать сбережение традиционных и рост возобновляемых ресурсных активов. Таким образом, к 2018 году окончательно сформировалась «триада» новой энергетической политики ЕС, возглавляемой странами БСМ (Рис.2.4), которая включает себя стратегии энергобезопасности, энергоэффективности и климатическую политику, объединенных парадигмой устойчивого развития экономики и общества. Триада устойчивого развития энергетики ЕС обеспечивает мультипликативный эффект совместного действия факторов первого рода, что дополнительно ускоряет процессы развития технологий ВИЭ и замещения традиционной энергетики возобновляемой.

2.2. Факторы влияния второго порядка на трансформацию энергетического сектора стран БСМ

Экологические факторы. Допустимый уровень глобального потепления стал наиболее важным экологическим фактором, особо выделенным Парижским Соглашением, от достоверности которого сегодня полностью зависят политические и финансовые решения в мировой экономике и глобальной энергетике. Последние годы наблюдаются аномально высокие температуры (свыше 30°C) во многих регионах мира, по данным NOAA только за один месяц 2018 года было установлено 118 исторических температурных рекордов.¹³⁶ Ещё в 2004 году ученые предупреждали, что периоды жаркой погоды будут всё более частыми и продолжительными, и что это связано с выбросами парниковых

¹³⁵ Официальный сайт всемирного банка. URL: <http://www.vsemirnyjbank.org> (дата обращения 12.02.2019)

¹³⁶ Жарко, аж жуть! Почему прогноз погоды не радует. URL: https://www.kommersant.ru/doc/3702727?from=doc_vrez (дата обращения 17.01.2019)

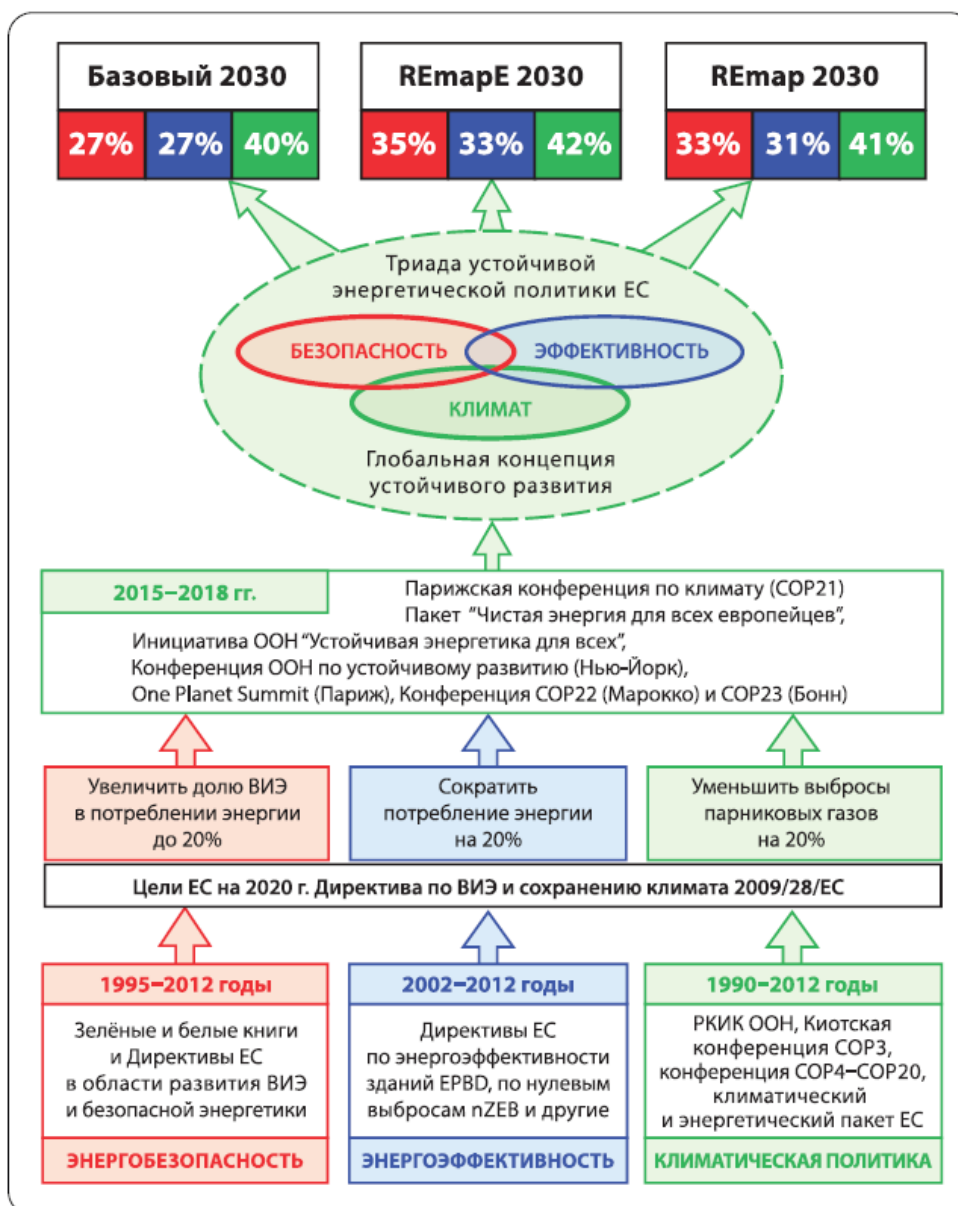


Рисунок 2.4 – Триада новой энергетической политики ЕС (стран БСМ)
Составлено автором

газов.¹³⁷ Эта гипотеза подтвердилась данными многочисленных зарубежных и отечественных исследований, которые установили факты глобального изменения климата. Глобальное потепление и попадание более трети всех выбросов CO₂ в Мировой океан приводит к повышению температуры и кислотности воды, что определяет негативные нарушения трофических цепей морских экосистем и возможный ущерб человечеству. Среднегодовая температура воздуха в Арктике

¹³⁷ Meehl G., Tebaldi C. More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. Science. Vol. 305.- no. 5686. – pp. 994-997. URL:<http://science.sciencemag.org/content/305/5686/994.long> (дата обращения 14.05.2018)

оказалась в 2018 году на 3,23° C выше, чем в 2017 году,¹³⁸ Это вызывает разрушение ледового покрова , что ведет к росту уровня воды и грозит катастрофами от вероятного затопления части островных и прибрежных государств, а также попаданию в воду из льда различных вредных веществ .¹³⁹ Одним из самых опасных из них является ртуть , содержание которой в глобальной экосистеме уже увеличилось на 200-300%, что связывается с использованием углеводородов, в первую очередь угля.¹⁴⁰ Некоторые ученые считают ¹⁴¹ , что решения Парижского соглашения требуют корректировки, так как они основаны только на данных моделей линейных зависимостей роста глобальной температуры от промышленных выбросов парниковых газов. А на самом деле, должен ещё учитываться нелинейный характер попадание в атмосферу больших объемов метана и CO₂, высвобождающихся в результате таяния вечной мерзлоты, что значительно уменьшает эмиссионный бюджет этих газов.¹⁴² Если не принять дополнительных срочных мер , то « точка невозврата» , после которой потепление уже нельзя будет остановить, может достигнута уже менее чем через 15 лет.¹⁴³ В то же время, ещё многие специалисты и политики сомневаются в антропогенном характере климатических изменений и даже утверждают, что подобные теоретические выводы являются политическим заказом экологического лобби.¹⁴⁴

¹³⁸ Рекорды Арктики: в Заполярье зафиксировано беспрецедентное потепление. Температура увеличилась более чем на 3 градуса. URL:<https://iz.ru/786293/aleksandra-rykova/rekordy-arktiki-v-zapoliare-zafiksirovano-bespretcedentnoe-poteplenie> (дата обращения 14.02.2019)

¹³⁹ Dockrill P. Ticking Time Bomb' of Heated Ocean Discovered Hidden Under The Arctic Fire in the hole. URL: <https://www.sciencealert.com/ticking-time-bomb-hidden-heated-ocean-water-under-arctic-canada-basin-chukchi-sea> (дата обращения 12.01.2019)

¹⁴⁰ New mercury threat to oceans from climate change. URL:<https://www.bbc.com/news/science-environment-38769697> (дата обращения 18.03.2018)

¹⁴¹ Gasser T., Kechiar M. and other. Path-dependent reductions in CO₂ emission budgets caused by permafrost carbon release. URL:https://www.researchgate.net/publication/327702407_Path-dependent_reductions_in_CO2_emission_budgets_caused_by_permafrost_carbon_release (дата обращения 12.01.2019)

¹⁴² Эмиссионный бюджет парникового газа - допустимое количество выбросов за определенный период, которое не угрожает превысить уровень глобального потепления , вызывающего климатическую катастрофу. В соответствии с Парижским соглашением рост глобальной средней температуры не должен превышать 1,5 градуса, для чего эмиссионный бюджет не должен превышать 550 гигатонн CO₂.

¹⁴³ Aengenheyster M., Feng Q. and other. The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance. Earth Syst. Dynam. -,№ 9. -1085-1095. URL:<https://www.earth-syst-dynam.net/9/1085> (дата обращения 11.03.2019)

¹⁴⁴ Дискуссия о климате. Российская наука — об изменении климата (глобальном потеплении). URL:<http://repen.ru/russian-science-on-climate-change-global-warming> (дата обращения 06.01.2019)

В статье российского экономиста А.А. Конопляника ¹⁴⁵ отмечается: «Важнейшим фактором современности является COP21 - Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Установленные документом ограничения на выбросы углекислого газа в атмосферу сродни нажатию на спусковой крючок запуска ограничений по использованию невозобновляемых энергоресурсов со стороны спроса. Это способно изменить всю картину мира». По мнению автора статьи, экологические требования меняют макроэкономическую логику на рынке углеводородов, ведут к переориентации инвесторов и могут кардинально изменить энергетический сектор мировой экономики. Если до сих пор главными вопросами являлось определение сроков истощения ископаемых ресурсов в соответствии с «кривой Хабберта» и ограничений со стороны предложения, а также постоянное повышение цен странами-экспортерами по «правилу Хотеллинга», то рост ВИЭ для предотвращения глобального потепления, наоборот, ведет к ограничениям со стороны спроса и постоянному снижению цен на нефтегазовое сырье. Поэтому, исполнение намеченной цели сокращения глобальных выбросов CO₂ на 90% к 2050 году может сделать невостребованными более чем 66% доказанных извлекаемых запасов углеводородов, так как свыше 60% потенциальных выбросов парниковых газов приходится на уголь, 22% на нефть и 15% на газ.¹⁴⁶

В 2018 году Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК-IPCC) Программы ООН по окружающей среде (UNEP) и Всемирной метеорологической организации (WMO) были опубликованы важнейшие доклады: «Глобальное потепление на 1,5 °C»¹⁴⁷ и «О разрыве в уровнях выбросов 2018»¹⁴⁸, в которых утверждается, что для предотвращения климатической катастрофы критически необходимо уже к 2030 году сократить

¹⁴⁵ Конопляник А.А. Затишье перед бурей. Четыре фактора неопределенности на рынке нефти//Нефтегазовая вертикаль.-2016.- №15-16 - С.6-12

¹⁴⁶ Конопляник А.А. Затишье перед бурей. Четыре фактора неопределенности на рынке нефти/2016/ Нефтегазовая вертикаль.-2016.- №15-16 – С.6-12

¹⁴⁷ Global warming of 1.5°C/ IPCC/2018/<https://www.ipcc.ch/sr15/>&/<https://www.ipcc.ch/sr15/faq>

¹⁴⁸ Emissions Gap Report 2018 UNEP.

URL:

http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
(дата обращения 11.02.2019)

выбросы CO₂ в мире на 45% по сравнению с 2010 годом. Сообщается также, что к 2017 году глобальное потепление уже превысило на 1,0 °C доиндустриальный уровень и глобальная температура, с превышением в 1,5 °C, может установиться уже к 2040 году (Рис.2.5).

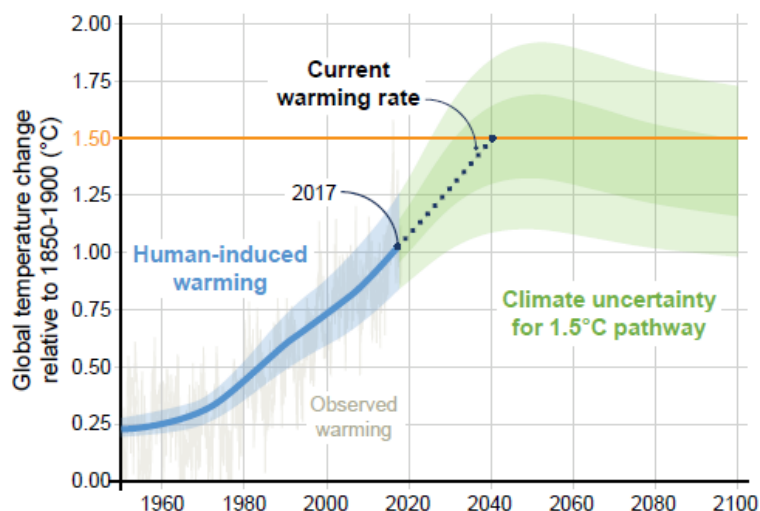


Рисунок 2.5 - Уровень глобального потепления на 2017 год в результате человеческой деятельности и возможные пути его ограничения. Источник: Global warming of 1.5°C IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/>&<https://www.ipcc.ch/sr15/faq> (дата обращения 01.03.2019)

В докладе ¹⁴⁹ предлагается ограничение глобального потепления путем сокращения выбросов CO₂ до нуля к 2055 году, для чего в мировом производстве первичной энергии доля ископаемого топлива должна значительно сократиться, а в глобальной генерации электроэнергии доля ВИЭ должна достичь 77,52%, что сопоставимо с аналогичным прогнозом на 2050 год крупнейшей консалтинговой компанией DNV GL.¹⁵⁰ При этом, на долю газа придется в среднем до 6,78%, угля- 0,59%, нефти- 0,04% и атомной энергетики- 8,87%.¹⁵¹ В работах ¹⁵² подчеркивается, что только при условии срочного перехода

¹⁴⁹ Global warming of 1.5°C. IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/>&<https://www.ipcc.ch/sr15/faq> (дата обращения 01.03.2019)

¹⁵⁰ ENERGY TRANSITION OUTLOOK 2018. A global and regional forecast to 2050. URL:<https://eto.dnvgl.com/2018> (дата обращения 14.01.2019)

¹⁵¹ Сидорович В. Доклад МГЭИК: к 2050 году мир должен построить экономику с нулевыми выбросами. URL: <http://renen.ru/ipcc-report-world-needs-to-build-net-zero-emissions-economy-by-2050/> (дата обращения 09.01.2019)

¹⁵² Summary for Policymakers. Global warming of 1.5°C/ IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/summary-for-policy-makers>; Emissions Gap Report 2018. UNEP.

URL: http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения 19.01.2019)

к новой климатической и энергетической политике всеми странами мира во всех секторах мировой экономики можно будет добиться ограничения глобального потепления до 1,5 °C и что ближайшие несколько лет станут наиболее важными в истории человечества. Если это не удастся сделать до 2030 года, то в последствие ограничить рост температуры даже до 2°C уже будет не реально, что к концу столетия приведет к превышению на 3°C и к вселенской катастрофе.¹⁵³ В отчете¹⁵⁴ отмечается, что, несмотря на принятые в мировой экономике меры по стабилизации парниковых газов, в 2017 году наблюдался их рост, глобальный объем выбросов газов достиг исторического максимума 53,5 Гтн CO₂ и продолжает увеличиваться. По мнению авторов отчета, прекращение всякого субсидирования нефтегазового топлива позволит до 2030 года сократить объем глобальных выбросов CO₂ на 10%, а установление за тонну CO₂ цены \$70 - обеспечит сокращение выбросов парниковых газов до 40% во многих государствах. В работе¹⁵⁵ показано, что для ограничения к 2030 году роста глобальной температуры ниже 2°C понадобится \$300 млрд. ежегодных инвестиций, а для реализации ограничения в 1,5°C , уже \$460 млрд. С целью обеспечения нулевых выбросов к 2050 году стран ЕС разработана новая модель перехода к полной электрификации за счет использования ВИЭ на 100% во всех секторах экономики: бытовом, энергетическом, транспортном, теплоснабжения и опреснения воды.¹⁵⁶ Результаты моделирования показали , что в 2050 году 85% спроса на первичную энергию может обеспечивать электроэнергия , а 94% её производства будет осуществляться переменчивыми ВИЭ. При этом, установки на ископаемом и ядерном топливе должны быть полностью замещены ВИЭ, что

¹⁵³ Emissions Gap Report 2018 . UNEP.

URL:

http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
(дата обращения 19.01.2019)

¹⁵⁴ Nations must triple efforts to reach 2°C target, concludes annual review of global emissions, climate action. URL:<https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/nations-must-triple-efforts-reach-2degc-target-concludes-annual> (дата обращения 17.01.2019)

¹⁵⁵ David L. and other. Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. // Nature Energy. 2018.-.vol. 3.- p.589–599. URL:<https://www.nature.com/articles/s41560-018-0179-z> (дата обращения 02.02.2019)

¹⁵⁶ New Study: 100% Renewable Energy across Europe is More Cost Effective than the Current Energy System and Leads to Zero Emissions Before 2050. URL: <http://energywatchgroup.org/new-study-100-renewable-energy-across-europe> (дата обращения 12.01.2019)

обеспечит снижение ежегодных выбросов парниковых газов в ЕС от 4200 Мтн CO₂ в 2015 году до нуля к 2050 году. В 2018 году подобная стратегия замещения традиционной энергетики на ВИЭ была официально утверждена Еврокомиссией для стран ЕС на долгосрочную перспективу.¹⁵⁷

Технологические факторы. По новым данным инвестиционного банка Lazard, за последние девять лет LCOE ветровых технологий ВИЭ снизилась на 69% , а солнечных на 88%.¹⁵⁸ К 2018 году диапазон LCOE новых технологий ВЭУ большой мощности упал до \$29-56/МВт-ч , а для крупных СЭС – до \$36-46/МВт-ч, при том, что нижняя граница интервала LCOE для угольных электростанций составляет \$60 /МВт-ч и для парогазовых установок - \$58 /МВт-ч. Аналитики компании Lazard отмечают, что процессы замещения уже подошли к переломной точке, когда всё чаще стало экономически выгодней внедрять новые проекты ВИЭ, чем эксплуатировать или создавать традиционные электростанции на углеводородном топливе. Расчеты банка Lazard базируются на данных энергетического рынка США, где издержки эксплуатации традиционных технологий ниже, чем в ведущих странах ЕС. Поэтому можно утверждать, что к 2018 году в странах БСМ конкурентоспособность технологий ВИЭ достигла ещё более высокого уровня по сравнению с данными Lazard , несмотря на снижение цен ископаемого топлива в последние годы. Характерным примером являются аукционы по проектам оффшорных ВЭУ, проведенные в 2017 году по рекордным низким ценам (до 0,06 евро/кВт-ч) в Нидерландах , Дании и Великобритании. Резкое снижение стоимости PV модулей обеспечило их конкурентоспособность без субсидий даже в странах с невысокими ресурсами солнечной энергии. Благодаря теплой погоде и сильным ветрам , в конце 2017 года в Германии сложилась парадоксальная ситуация, когда было произведено так много электроэнергии от ВИЭ и традиционных станций, что её стоимость иногда снижалась до минус 100 евро/МВт-ч, а сетевым операторам приходилось даже

¹⁵⁷ The Commission presents strategy for a climate neutral Europe by 2050. Questions and answers URL: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-6545_en.htm (дата обращения 18.01.2019)

¹⁵⁸ Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 12.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf> (дата обращения 07.01.2019)

доплачивать потребителям по цене до 50 евро/МВт-ч за её использование.¹⁵⁹ В государствах ЕС только за 2018 год планировался рост солнечных ВИЭ на 35%, при этом лидерами являются страны БСМ (Нидерланды, Германия, Франция, Великобритания) с годовым приростом установленной мощности проектов СЭС более 1,0 ГВт.¹⁶⁰ Дальнейшее снижение LCOE солнечных и ветровых ВИЭ будет происходить ускоряющимися темпами, что связано с технологическими сдвигами в области передовых материалов и производства. Например, в солнечной энергетике большие перспективы имеют фотоэлементы из перовскита (Perovskite) отдельно или вместе с кремниевыми ячейками.¹⁶¹ В области ветровой энергетике значительное снижение времени и расходов на внедрение и обслуживание ВЭУ, а также логистических издержек, ожидается от использования новых технологий 3D-печати для производства лопастей ветровых турбин и других различных элементов ВЭУ непосредственно в районе развертывания, в том числе и для оперативного ремонта.¹⁶² Страны, создающие и развивающие новейшие технологии, получают дополнительную интеллектуальную ренту от их внедрения в мировую экономику, а страны, не обладающие такими инновационными технологиями, вынуждены будут эту ренту оплачивать за счет поставок своих сырьевых ресурсов.¹⁶³ Научно-техническому прогрессу развития «зеленой» энергетики способствует активное выполнение научно - исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР-R&D), наиболее эффективно базирующихся на модели тройной спирали (triple helix), предложенной Г.Ицковицем.¹⁶⁴ Модель предполагает, что уровень инновационности экономики зависит от оптимального трехстороннего

¹⁵⁹ Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. URL:<https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017> (дата обращения 15.06.2018)

¹⁶⁰ Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. URL:<https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017> (дата обращения 15.06.2018)

¹⁶¹ Hutchins M. Oxford PV hits world record efficiency for perovskite/silicon tandem cell//PV Magazine -2018. URL:<https://www.pv-magazine.com/2018/06/26/oxford-pv-hits-world-record-efficiency-for-perovskite-silicon-tandem-cell> (дата обращения 10.09.2018)

¹⁶² First 3-D printed wind-blade mold, energy-saving nanoparticles earn Sandia national awards.Sandia National Laboratories. URL:https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news_releases/consortium_awards (дата обращения 08.07.2018)

¹⁶³ Глазьев, С.Ю. Возможные и вероятные сценарии долгосрочного развития России //цикл публичных лекций «Академики — студенчеству» - . М.: ГУУ.- 2006.- 25 с.

¹⁶⁴ 14. Ицковиц,Г. Модель тройной спирали /Г.Ицковиц // Инновационная Россия. - 2011. - №4 - С.5-10

взаимодействия государства, бизнеса и научно-образовательного сектора. Получаемый системный эффект приносит синергию выгод всем сторонам. Очевидно, что такой подход в полной мере реализуется в странах БСМ, так как эти страны занимают ведущие позиции в Глобальном индексе инноваций и в Глобальном рейтинге конкурентоспособности.¹⁶⁵ Наиболее важным для становления возобновляемой энергетики в странах БСМ стал период с 2007 по 2013 год, когда выполнялся план SET целевого инвестирования НИОКР (R&D) различных технологий ВИЭ¹⁶⁶, при участии ведущих банков и фондов ЕС (Прил., табл. Б1 и Б2). Всего за период 2007-2013 годов на НИОКР технологий ВИЭ по различным научным программам было выделено 7,2 млрд. евро (Прил., табл. Б1 и Б2), Наибольшую финансовую поддержку получили ветровые технологии (около 1,82 млрд. евро), солнечные технологии (1,3 млрд. евро) и биоэнергетика (1,2 млрд. евро). При этом, более 40% средств на ветровую энергетику было выделено под демонстрационные проекты оффшорных технологий Германии, Бельгии и Франции, а свыше 60% финансирования исследований солнечных проектов пришлось на технологии CSP (солнечные концентраторы). В биоэнергетике свыше 50% средств было использовано на развитие проектов биотоплива. По плану SET также получили поддержку научные работы и по другим технологиям ВИЭ (Прил., табл. Б2). Всего в работе по программе SET участвовало несколько сотен научных организаций стран ЕС под руководством рабочего комитета Еврокомиссии.¹⁶⁷ К 2015 году по индексу привлекательности инвестирования в ВИЭ страны БСМ были в первой двадцатке в мире: Германия на 5-ом месте, Франция - на 8-ом, Великобритания- на 13-ом, Дания- на 15- ом, Нидерланды - на 17-ом, Бельгия - на 20-ом месте.¹⁶⁸ По данным Bloomberg New Energy Finance (BNEF) глобальные инвестиции в технологии ВИЭ за 2017 год, без учета

¹⁶⁵ Global innovation index // INSEAD (The business school for the World).URL: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator> (дата обращения 12.08.2017); Global leader index // Institute of Management Development.:URL: <https://global-leader-index.imd.org/> (дата обращения 12.08.2017)

¹⁶⁶ EU R&D funding for Low Carbon Energy Technologies. Analysis of the distribution of 2007-2013 commitments. URL:<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99158/commitmentanalysis2007-2013bnl09122015.pdf> (дата обращения 05.05.2017)

¹⁶⁷ Боровский Ю.В. Современные проблемы мировой энергетики - М.: ИД Навона.- 2011.- 232 с.

¹⁶⁸ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

проектов большой гидроэнергетики, составили 290 млрд. евро, что превысило в 2,7 раза вложения в традиционную генерацию.¹⁶⁹ Если, при объеме глобальных инвестиций в ВИЭ около 76,6 млрд. евро, в 2005 году лидером являлся ЕС с инвестициями 35,8 млрд. евро (44% от мировых), вторыми были США – 14,4 млрд. евро (19%) и третьим - Китай с 7,7 млрд. евро (10%), то в 2014 году Китай был уже на первом месте, обойдя ЕС в инвестициях ,что составило в 2015 году, соответственно, 109 млрд.евро (35%) и 64,2 млрд.евро (20,5%). Инвестиции Китая в ВИЭ продолжали увеличиваться, достигнув доли 40,0% (115,4 млрд. евро) в 2017 году , а в ЕС существенно снизились до доли 17,2% (49,9 млрд.евро) в 2017 году (Табл. 2.1).

Таблица 2.1

Динамика инвестиций в ВИЭ мировых лидеров за период 2005-2017 годы

Инвестиции млрд.евро (%)	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Глобальные	76,6	158,5	180	281,9	233,7	313,5	290,2
Европа	33,8 (44)	65,4 (41,2)	79,4 (44,1)	119,9 (42,5)	61,1 (26,1)	64,2 (20,5)	49,9 (17,2)
Китай	7,7 (10)	14,6 (9,2)	33,7 (18,7)	44,8 (15,9)	58,2 (25)	109 (35)	115,4 (40)
США	14,4 (19)	40,1 (25,3)	30,5 (17)	54,2 (19,2)	38,8 (16,6)	50,1 (16)	49,5 (17)

Составлено автором по данным источника: Clean Energy Investment Trends.

URL<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf>
(дата обращения 12.11.2018):

Это объясняется, с одной стороны, рекордными инвестициями Китая в солнечную энергетику до 75,9 млрд. евро в 2017 году, а с другой стороны , падением общего объема инвестиций в Великобритании на 65% и Германии на 35% , прежде всего для береговых ВЭС и СЭС, а также переходом на аукционы проектов береговых и морских ВЭС с более низкими издержками LCOE.¹⁷⁰ С 2005 по 2011 годы в ЕС наблюдался, как общий рост инвестиций в ВИЭ (до 119,9

¹⁶⁹ Clean Energy Investment Trends.URL: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf> (дата обращения 12.11.2018)

¹⁷⁰ Global Trends In Renewable Energy Investment 2018. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. URL:http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf (дата обращения 11.10.2018)

млрд. евро), так и рост инвестиций по отдельным странам БСМ, например, в Германии до 28,3 млрд. евро (Прил., табл. Б3). А в последующие годы объем инвестиций стал снижаться, как в совокупности по ЕС, так и в странах. Из 49,9 млрд. евро инвестиций, поступивших в Европу за 2017 год, на Германию пришлось 12,7 млрд. евро (25,4%), на Великобританию 9,0 млрд. евро (18%) и 4,4 млрд. евро (8,8%) на Францию. Важно отметить, что в развитии возобновляемых технологий стран БСМ с 2017 года начался переход от субсидирования на коммерческие условия, а европейская инновационная и инвестиционная активность в этом направлении стала быстро распространяться на новые рынки. При этом, страны БСМ, как лидеры альтернативной энергетики, получили значительные преимущества в международной торговле, увеличении ВВП, росте благосостояния и занятости за счет экспорта своих передовых технологий ВИЭ, особенно, в развивающиеся страны Латинской Америки, Африки, Ближнего Востока и Азии. Интересно, что в 2017 году инвестиции в солнечную энергетику были уже в 2,5 раза выше в развивающихся странах (102 млрд. евро), чем в развитых государствах. В 2017 году наблюдался также значительный рост инвестиций в ВИЭ в странах - экспортерах ископаемого топлива, например, в ОАЭ они увеличились в 29 раз.¹⁷¹ Снижение глобальных и европейских инвестиций в 2016-2017 годах по сравнению с 2015 годом, несмотря на рекордные темпы ввода новых мощностей ВИЭ, которые только за 2016 год достигли 164 ГВт, объясняется в первую очередь значительным снижением издержек LCOE и улучшением конкурентоспособности солнечных и ветровых технологий. В результате этого инвесторы получили возможность развития ВИЭ за меньшие деньги.¹⁷² Анализ глобальных инвестиций по технологиям ВИЭ в 2011 и 2017 годах показал, что начиная с 2011 года, наибольшие объемы инвестиций вкладывались в солнечные технологии, достигнув в 2017 году 140 млрд. евро (48,3% от общей суммы), а с 2005 по 2009 год на первом месте вышли ветровые

¹⁷¹ Global Trends In Renewable Energy Investment 2018. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF .URL:http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf (дата обращения 11.10.2018)

¹⁷² Global Trends In Renewable Energy Investment 2018. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. URL:http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf (дата обращения 11.10.2018)

технологии, перейдя затем прочно на второе место (Прил., табл. Б4). В 2017 году инвестиции в ВЭУ составили 93 млрд. евро (32%). Совокупные глобальные инвестиции в другие технологии ВИЭ, такие как, малая гидроэнергетика, геотермальная и океанская энергетика, оставались относительно небольшими в течение рассматриваемого периода и к 2017 году снизились до 6,7 млрд. евро (3,0 %). После 2011 года глобальные инвестиции в биоэнергетику начали сокращаться с 26,9 млрд. евро (9,6%) до 6,1 млрд. евро (2.1%) в 2017 году. Распределение инвестиций в ЕС, Китае и странах-лидерах БСМ по технологиям ВИЭ в 2011 и 2017 годах (Табл. 2.2) демонстрирует значительное сокращение

Таблица 2.2.

Распределение инвестиций в ЕС, Китае и странах-лидерах БСМ по технологиям ВИЭ в 2011 и 2017 годах

Инвестиции млрд. евро (%)		Всего	Береговые ВЭУ	Оффшорные ВЭУ	СЭС	Другие ВИЭ
Европа	2011	119,9	15,9(13,3)	11,7(9,7)	74,3(62,9)	18,0(15,0)
	2017	49,9	14,9 (29,8)	9,57 (19,1)	9,57 (19,1)	15,9 (32,0)
Китай	2011	44,8	24,5 (54,6)	-	12,9 (28,9)	7,4 (16,5)
	2017	115,4	30,1(26,8)	-	75,9(65,8)	8,5 (7,4)
Германия	2011	33,9	3,0 (9,0)	6,8 (20,0)	20,4 (60,0)	3,7 (11,0)
	2017	12,7	2,3 (18,2)	4,6 (36,4)	1,93 (15,2)	3,8 (30,2)
Велико британия	2011	11,4	1,15 (10,0)	1,53 (13,4)	4,18 (36,6)	4,5 (40,0)
	2017	9,0	1,5 (16,7)	4,48 (50,0)	0,56 (6,3)	2,42 (27,0)

Составлено автором по данным источника: Clean Energy Investment Trends.

URL<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf>
(дата обращения 12.11.2018):

в ЕС инвестиций в солнечные технологии (на 64,7 млрд. евро) и одновременно рост в Китае инвестиций в СЭС примерно на такую же величину. Значительное снижение уровня инвестиций в СЭС, при росте их объема в береговые и морские ВЭУ, наблюдается также в Германии и Великобритании.

В отчете BNEF обращается внимание, что с глобальными инвестициями в 2017 году объемом 290,2 млрд. евро связаны также транзакции на сумму 111,3 млрд. евро от сделок слияния и поглощения M&A (mergers and acquisitions)

компаний на рынке ВИЭ, что определяет суммарные глобальные транзакции за 2017 год в области альтернативной энергетики величиной 401,4 млрд. евро.¹⁷³ Проведенный анализ финансовых потоков показывает, что возобновляемая энергетика уже стала зрелым сектором мировой экономики, в котором все чаще доминируют крупные промышленные игроки, коммунальные услуги и институциональные инвесторы.¹⁷⁴ По данным Еврокомиссии ЕС¹⁷⁵, для достижения доли ВИЭ до 34% в первичном энергопотреблении к 2030 году, в соответствии с дорожной картой REmap, потребуется ежегодно около 63,5 млрд. евро (Табл.2.3).

Таблица 2.3

Потребности в инвестициях и экономические выгоды от реализации сценария REmap

Средние годовые потребности инвестиций в технологий ВИЭ ЕС до 2030 года по сценарию REmap (Базовый + Δ REmap)	63,5 млрд. евро в год
Суммарные инвестиции за период с 2018 до 2030 года (Базовый +Δ REmap)	377 млрд. евро
Чистая экономия при сценарии REmap по сравнению с базовым сценарием (за счет разницы между LCOE возобновляемых и традиционных источников энергии)	21,8 млрд. евро в год к 2030 году
Предполагаемые предотвращенные затраты, связанные с ущербом здоровью людей	16,5 – 61,8 млрд. евро в год к 2030 году
Предполагаемые предотвращенные экологические затраты, связанные с возможным изменением климата	7,0 - 32,2 млрд. евро в год к 2030 году
Общая сэкономленная сумма затрат при сценарии REmap по сравнению с базовым сценарием	45,2 – 115,7 млрд евро в год к 2030 году

Составлено автором по данным источника: Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

При этом, суммарные дополнительные инвестиции по сравнению с базовым сценарием развития до 2030 года составят 377 млрд. евро. За счет мультипликативного эффекта от широкого использования ВИЭ во всех секторах экономики ЕС ожидаются значительные макроэкономические выгоды, которые

¹⁷³ Clean Energy Investment Trends./URL<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf> (дата обращения 12.11.2018)

¹⁷⁴ Global Trends In Renewable Energy Investment 2018. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF.URL:http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf (дата обращения 11.10.2018)

¹⁷⁵ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 25.10.2018)

будут усиливаться ограничением существующих субсидий для традиционной углеводородной энергетики и обеспечением равных конкурентных условий всем направлениям энергетики. В конце 2018 года 15 международных организаций, в том числе шесть глобальных банков развития, объявили решение сделать все свои операции климатически нейтральными.¹⁷⁶ Среди них Европейский банк реконструкции и развития (EBRD), который сообщил также, что, начиная с 2019 года, не будет больше финансировать добычу и эксплуатацию в угольном секторе, а также проекты разработки новых нефтяных месторождений.¹⁷⁷ Крупнейший инвестиционный Нефтяной фонд Норвегии с активами в \$1,0 трлн.¹⁷⁸ и Группа всемирного банка (WBG), начиная с 2019 года, прекращают всякие инвестиции в нефтегазовую энергетику, а WBG планирует также создать крупнейший в мире фонд «зеленых облигаций».¹⁷⁹ Таким образом, в 2017-2018 годах начался переход в направлении инвестиционных потоков от традиционной энергетики к возобновляемой, величины которые экспоненциально возрастают.

Экономические факторы. Развитие ВИЭ с самого начала осуществлялось при значительной государственной поддержке с использованием различных финансовых инструментов. В странах БСМ к ним относятся «Зеленые» облигации (Green Bonds), обязательства ROC (Renewables Obligation Certificates), льготные тарифы на подачу энергии FiT (Feed-In-Tariff), контракты на разницу CfD (Contracts for Difference).¹⁸⁰ Например, ROC обязывают компании поставлять потребителям не менее 10-15% от всей электроэнергии только от ВИЭ. Поставщикам выгоднее покупать “зелёные” сертификаты, покрывающие недостающее количество электроэнергии, чем оплачивать по государственным тарифам

¹⁷⁶ 15 Leading International Organizations Announce Joint Climate Neutrality Commitment At COP24. URL: <https://cleantechnica.com/2018/12/14/15-leading-international-organizations-announce-joint-climate-neutrality-commitment-at-cop24> (дата обращения 18.01.2019)

¹⁷⁷ EBRD puts decarbonisation at centre of new energy sector strategy. URL: <https://www.ebrd.com/news/2018/ebrd-puts-decarbonisation-at-centre-of-new-energy-sector-strategy.html> (дата обращения 19.12.2018)

¹⁷⁸ Сидорович В. Крупнейший торговец нефтью создает фонд для инвестиций в ВИЭ. URL: <http://renen.ru/the-largest-oil-trader-creates-a-fund-for-investment-in-renewables/> (дата обращения 15.11.2018)

¹⁷⁹ Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. URL: <https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017> (дата обращения 15.06.2018)

¹⁸⁰ Couture T., Gagnon Y. An Analysis of Feed-In Tariff Remuneration Models: Implications for Renewable Energy Investment// Energy Policy.- 2010. - Vol. 38. - No. 2, - PP.. 955-965. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.047> (дата обращения 15.12.2017);

Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ. 2016.- 96 с.

недопоставленную «зеленую» энергию. В Великобритании широкое использование CfD обеспечивает снижение рисков для инвесторов и более дешевые условия их финансовых вкладов за счет фиксации доходов от проектов возобновляемой энергетики.¹⁸¹ Привлечению инвестиций для проектов ВИЭ и энергоэффективности значительно способствуют «зеленые» облигации (Green Bonds), представляющие собой целевые долговые финансовые инструменты. Глобальный рынок таких облигаций стремительно растет - ещё в 2013 году его объем составлял \$10 млрд., а в 2017 году уже поднялся до \$ 163 млрд. и на 2018 год должен был достичь \$ 200 млрд.¹⁸² Значительную поддержку развитию альтернативной энергетики оказали различные инвестиционные и страховые компании, европейские, пенсионные и другие фонды.¹⁸³ Целевое финансирование альтернативной энергетики и энергоэффективности в ЕС осуществлялось, главным образом, по программам Еврокомиссии, Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) и Европейского инвестиционного банка (ЕИБ).¹⁸⁴ Например, анализ макроэкономического эффекта только программ по ремонту зданий стран ЕС показал, что ежегодная финансовая поддержка в размере \$ 56 млрд. позволяет создавать 760 тысяч дополнительных рабочих мест в год и приносит в государственные бюджеты чистый годовой доход в \$ 41–56 млрд.¹⁸⁵ В отчете Еврокомиссии¹⁸⁶ отмечается, что средние розничные цены на электроэнергию, газ и нефтепродукты в ЕС-28, как правило, выше, чем в странах G20, как для бытовых потребителей, так для промышленности, что во многом

¹⁸¹ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетике НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

¹⁸² Сидорович В. Генератор удивления: развитие ВИЭ в 2018 году. URL:<http://plus-one.rbc.ru/blog/ecology/generator-udivleniya-razvitie-vie-v-2018-godu> (дата обращения 02.04.2019)

¹⁸³ Проскуракова Л.Н., Ермоленко Г.В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. ВШЭ. URL:https://issek.hse.ru/data/2017/04/04/1168471430/Renova_Energy.pdf (дата обращения 01.02.2018)

¹⁸⁴ The EBRD now invests in sustainable energy via its Green Economy Transition approach. URL:<http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors-and-topics/sustainable-energy-initiative.html> (дата обращения 19.12.18); Дакалов М.В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС: автореферат дис. ... канд. экон. наук:08.00.14. - Москва, 2015.- 204 с.

¹⁸⁵ Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. URL:<http://www.energyefficiencycentre.org/-media/Sites/energyefficiencycentre/Publications> (дата обращения 12.02.2019)

¹⁸⁶ Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL:<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

объясняется широким использованием государственной поддержки ВИЭ. За период 2008-2016 годы совокупное субсидирование энергетического сектора ЕС-28 составило около 1450 млрд. евро в ценах 2017 года, начиная с 150 млрд. евро в 2008 году до 168 млрд. евро в 2016 году (Прил., табл. В1) , при этом, субсидирование ВИЭ увеличилась в три раза с 29 млрд. евро в 2008 году до 75 млрд. евро в 2016 году (Прил., рис. В1). Если первые пять лет темпы роста объемов субсидирования ВИЭ составляли 110%, то в последующие годы они резко снизились до 28% , а в 2015 и 2016 годах вообще стабилизировались. В то же время установленная мощность всех видов ВИЭ в ЕС-28 постоянно увеличивалась с 240 ГВт в 2008 году до 450 ГВт в 2016 году, и особенно интенсивно в последние годы (Рис.1.5). Это противоречие объясняется сокращением новых контрактов с использованием льготных тарифов FiT и FiP, вызванных падением издержек технологий солнечных и ветровых ВИЭ в сочетании с переходом к рыночной политике развития ВИЭ, например, на основе аукционов для крупных проектов. Наибольшую государственную финансовую поддержку в 2016 году получили солнечные (29 млрд. евро) и ветровые (20 млрд. евро) технологии ВИЭ, а также биоэнергетика (17 млрд. евро), что составило, соответственно, 37% , 26% и 22% от общего объема субсидий. С 2013 года в ЕС-28 наблюдается стабилизация объемов субсидирования в СЭС и их постоянный рост в ветровых технологиях ВИЭ.

Следует отметить, что, несмотря на повсеместную поддержку развития ВИЭ , субсидирование сектора традиционной энергетики по всему миру никогда не прекращалось, хотя ещё в 2009 году страны G20 в Питтсбурге (США) решили отказаться в среднесрочной перспективе от государственного финансирования ископаемого топлива в пользу экологически чистых источников энергии для предотвращения изменения климата.¹⁸⁷ В дальнейшем необходимость выполнения этого решения неоднократно подтверждалась на высоком уровне , в том числе и на Парижской конференции. В Пакете «Чистая энергия для всех

¹⁸⁷ Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households.. URL:/https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en (дата обращения 09.08.2019)

европейцев» (2016) подчеркивается, что в странах ЕС всё ещё продолжается значительная государственная поддержка всех видов топлива с высоким содержанием углерода и что необходимо установить жесткое ограничение субсидирования ископаемого топлива в национальных планах в пользу повышения уровня финансирования чистой устойчивой энергетики.¹⁸⁸ Исследования подтвердили¹⁸⁹, что за период с 2008 по 2016 год субсидирование традиционной энергетики ЕС-28 даже увеличились на 3% (1,4 млрд. евро) и достигли до 55 млрд. евро (Прил.,табл. В2), что, в основном, обусловливается финансовой поддержкой потребления нефтепродуктов в транспортном и сельскохозяйственном секторах экономики. Из стран БСМ наибольший объем субсидий на ископаемое топливо в 2016 году наблюдался в Великобритании (11,6 млрд. евро) и в Германии (9,5 млрд. евро) (Рис.2.6),

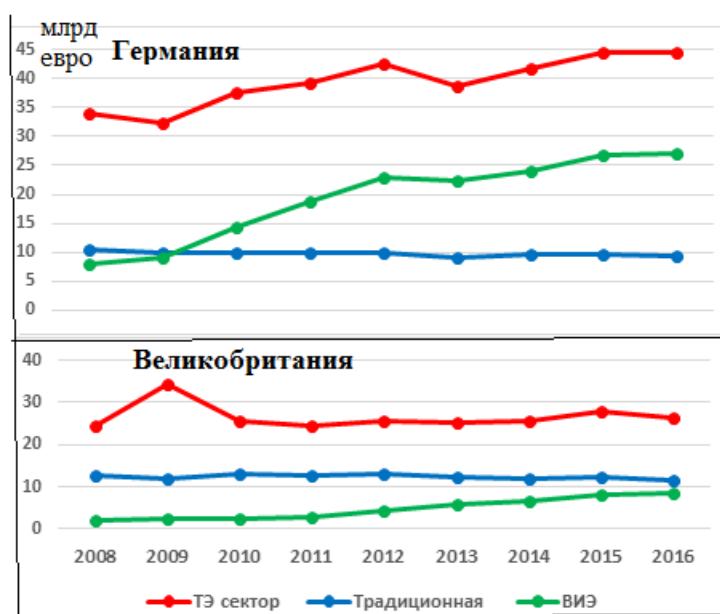


Рисунок 2.6 - Динамика субсидирования энергетического сектора (красный), традиционной энергетики (синий) и ВИЭ (зеленый) в Германии и в Великобритании

Составлено автором по данным: Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019):

За ними следуют Франция (8,0 млрд. евро), Бельгия и Нидерланды (по 2,0, 6,0 и 4,0 млрд. евро в каждой стране) (Прил., табл. В2 и В3). При этом, в Германии

¹⁸⁸ European Commission. Clean energy for all. The revised Renewable energy Directive . URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/technical_memo_renewables.pdf (дата обращения 03.02.2019)

¹⁸⁹ Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

ВИЭ получили в 2016 году значительно большую сумму субсидий (27,4 млрд. евро) , чем традиционная энергетика (9,47 млрд. евро), а в Великобритании и Франции, наоборот, сектор ископаемых источников энергии получил большую поддержку, чем ВИЭ (11,62 против 8,43 млрд. евро и 8,05 против 6,89 млрд. евро). В Нидерландах также большой объем субсидирования был выделен традиционной энергетике.

С 2015 года в странах ЕС стали проводиться конкурсные торги проектов ВИЭ, позволяющие снижать государственную финансовую поддержку, а также постепенно замещать льготные тарифы и льготные премии. На тендерах и аукционах максимальную стоимость заявки , условия и сроки выполнения проекта устанавливаются государством, а победителями становятся компания, сделавшие наилучшие предложения выполнения контракта.¹⁹⁰ Характерно, что первый тендер в Германии (2015 год) проводился для проекта солнечной электростанции мощностью 150 МВт с максимальной стоимостью 0,113 евро /кВт-ч , а в 2016 году на очередном тендере проекта СЭС мощностью 128 МВт стоимость электроэнергии для конечных потребителей снизилась уже до 0,074 евро /кВт-ч. Новые условия развития ВИЭ являются благоприятными для населения, так как ведут к существенному снижению цен на возобновляемую электроэнергию, что делает её конкурентоспособной с генерацией от традиционных источников энергии. В 2018 году Великобритания, Германия и другие страны БСМ частично уже перешли от тарифных ставок на рыночные конкурсные торги. По оценкам, около 50% добавленной установленной мощности ВИЭ в ЕС с 2017 года по 2022 год будет обусловлена проведением аукционов.¹⁹¹ К новой особенности процессов замещения в странах БСМ следует отнести постоянный рост числа компаний, решивших инвестировать в 2017-2018 годах крупные проекты ВИЭ без государственной поддержки, что определяется

¹⁹⁰ Ермоленко Г.В . и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетике НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

¹⁹¹ As Subsidies Wane, Market Forces Drive the Growth of Renewables. URL:<https://e360.yale.edu/features/as-subsidies-wane-market-forces-drive-the-growth-of-renewables> (дата обращения 12.08.2018)

непрерывным снижением стоимости солнечных и ветровых технологий.¹⁹² Первым в мире таким проектом ВИЭ стала морская ветровая ферма Hollandse Kust Zuid мощностью 750 МВт, которая должна быть построена к 2022 году у побережья Нидерландов.¹⁹³ В начале 2018 года компания «Engie» (Франция) приступила к разработке проекта ВЭУ мощностью 300 МВт стоимостью 300 млн. евро полностью без государственных субсидий, а в Нидерландах компания «Vattenfall» выиграла тендер на строительство морской ВЭУ мощностью 700 МВт также без субсидирования. В 2017 году решение построить к 2024 году морские ВЭС без государственной поддержки, рассчитывая только на рыночные цены электроэнергии, приняли компании Orsted (Дания) и Energie Baden-Wuerttemberg (Германия).¹⁹⁴ К середине 2018 года в ЕС уже было объявлено 12 проектов СЭС без субсидирования суммарной мощностью около 676 МВт.¹⁹⁵ По прогнозам консалтинговой компании Aurora Energy Research¹⁹⁶, к 2030 году в странах БСМ будут вложены более 52 млрд. евро без субсидирования в проекты ВИЭ, кумулятивной мощностью до 60 ГВт. Такие проекты значительно повышают риски инвесторов. Кроме ожидаемой волатильности стоимости электроэнергии, возможен также «каннибализм» цен, связанный с их снижением при перепроизводстве энергии. В ветреный или солнечный период, с одной стороны, электроэнергия становится более дешевой для потребителей, но, с другой стороны, сокращает доходность для собственников ВИЭ.¹⁹⁷ Создается парадоксальная ситуация, когда успехи в развитии возобновляемой энергетики

¹⁹² Сидорович В. Генератор удивления: развитие ВИЭ в 2018 году. URL: <http://plus-one.rbc.ru/blog/ecology/generator-udivleniya-razvitie-vie-v-2018-godu> (дата обращения 02.04.2019)

¹⁹³ Subsidy-free renewable energy projects set to soar in UK, analysts say. URL: <https://www.theguardian.com/business/2018/mar/20/uk-subsidy-free-renewable-energy-projects-set-soar-aurora-energy-research-analysts> (дата обращения 12.02.2019)

¹⁹⁴ Germany paid people to use electricity over the holidays because its grid is so clean. URL: <https://www.independent.co.uk/environment/germany-power-grid-pays-customers-christmas-sustainability-renewable-energy-a8141431.html> (дата обращения 11.03.2019)

¹⁹⁵ Europe is building more wind and solar — without any subsidies. URL: <https://www.vox.com/2018/5/30/17408602/solar-wind-energy-renewable-subsidy-europe> (дата обращения 11.01.2019); Stukalkina A., Donovan C. The dangers of subsidy-free renewable energy. URL: <https://www.imperial.ac.uk/business-school/knowledge/finance/dangers-subsidy-free-renewable-energy> (дата обращения 21.01.2019)

¹⁹⁶ Northwest Europe could install 60 GW of subsidy-free renewables by 2030, report finds. URL: <https://www.pv-magazine.com/2018/03/21/northwest-europe-could-install-60-gw-of-subsidy-free-renewables-by-2030-report-finds> (дата обращения 25.02.2019)

¹⁹⁷ Germany paid people to use electricity over the holidays because its grid is so clean. URL: <https://www.independent.co.uk/environment/germany-power-grid-pays-customers-christmas-sustainability-renewable-energy-a8141431.html> (дата обращения 16.02.2019)

снижают доходы производителей и инвесторов. Например, прогнозируется, в случае внедрения в Великобритании больших объемов мощности ВИЭ, закупочные цены в стране на электроэнергию в 2030 году могут снизиться с предполагаемого базового случая в 46 фунт.ст./МВт-ч до 30 фунт.ст./МВт-ч.¹⁹⁸ Поэтому ожидается, что на начальном этапе только частные инвестиционные компании будут готовы вкладывать средства в проекты без субсидий под доходность не менее 15 % . Однако , некоторые специалисты считают, что переход на проекты с нулевым субсидированием может привести к перераспределению субсидий в пользу традиционной энергетики, что будет препятствовать достижению странами ЕС климатических целей Парижского соглашения и существенно замедлит процессы энергетической трансформации.¹⁹⁹ Несмотря на стремительный рост рынка «зеленой» энергетики, предполагается, что пока ещё в ЕС не сложилась ситуация, позволяющая уверенно отказываться от государственной поддержки , так как именно инструменты субсидирования позволили быстро снизить LCOE переменчивых ВИЭ, а также экономически выгодно привлекать капитал и снизить риски для инвесторов путем стабилизации их потенциальных доходов. Для реализации проектов ВИЭ без государственного субсидирования всё чаще используются долговременные соглашения о покупке возобновляемой электроэнергии по фиксированной цене (PPA - power purchasing agreements) производителей ВИЭ с коммунальными предприятиями или с крупными компаниями.²⁰⁰ По данным BloombergNEF, соглашения PPA являются наиболее быстро растущим финансовым инструментом корпоративных закупок «зеленой» электроэнергии. В 2016 году суммарный объем глобальных PPA составил 4,3 ГВт , в 2017 - 5,4 ГВт, а к середине 2018 года уже 7,2 ГВт, из них более 1,6 ГВт приобрели компании ЕС.²⁰¹ Примером могут служить ,

¹⁹⁸ What does 'subsidy-free' renewables actually mean? URL:<https://www.eco-business.com/news/what-does-subsidy-free-renewables-actually-mean> (дата обращения 11.01.2019)

¹⁹⁹ Stukalkina A., Donovan C. The dangers of subsidy-free renewable energy. URL: <https://www.imperial.ac.uk/business-school/knowledge/finance/dangers-subsidy-free-renewable-energy>(дата обращения 17.02.2019)

²⁰⁰ Europe is building more wind and solar — without any subsidies. URL: <https://www.vox.com/2018/5/30/17408602/solar-wind-energy-renewable-subsidy-europe>(дата обращения 12.01.2019)

²⁰¹ Corporations Purchased Record Amounts of Clean Power in 2017. URL:<https://about.bnef.com/blog/corporations-purchased-record-amounts-of-clean-power-in-2017> (Дата обращения: 15.12.2018)

подписанные в 2018 году, соглашения РРА на большие мощности с крупнейшими корпорациями Facebook и Google. По мнению экономистов, такие решения приближают время, когда уже рыночная экономика, а не государственная поддержка, становится главным драйвером дальнейшего развития ВИЭ.²⁰²

Политические факторы. Новым важным фактором является корпоративная политика, направленная на рост участия в альтернативной энергетике различных компаний и инвесторов. Например, глобальная инициатива RE100 объединяет крупнейших потребителей, обязующихся полностью перейти на использование «зеленой» электроэнергии. В их число входят глобальные корпорации IKEA, BMW, Google, Carlsberg Group, Vestas Wind Systems, Starbucks, General Motors и многие другие.²⁰³ До 2018 года к инициативе присоединилось 122 организаций, с совокупным доходом \$ 2,75 трлн. На них приходится более 159 ТВт-ч годового спроса возобновляемой электроэнергии, что соизмеримо с энергопотреблением Польши. При этом, на членов RE100 в Великобритании приходится около 10,0 ТВт-ч, в Германии – 4,0 ТВт-ч, Нидерландов – 3,0 ТВт-ч. Все больше электроэнергии от ВИЭ для поддержки развития зеленой энергетике закупается по долгосрочным контрактам различными компаниями, среди которых мировые гиганты Alcoa Corp., Microsoft, Facebook, AT&T Inc., Norsk Hydro, Walmart и другие. Суммарные инвестиции в ВИЭ компании Google составили уже \$3,5 млрд.²⁰⁴ Компания Apple использует во всех своих офисах, магазинах, предприятиях в 43 странах мира на 100% только «зеленую электроэнергию», благодаря чему с 2011 по 2017 годы ей удалось на 54% снизить выбросы CO₂.²⁰⁵ В конце 2017 года крупнейшие банки мира JPMorgan и Citigroup заявили о полном переходе на альтернативную энергетическую к 2020

²⁰² Сидорович В. Генератор удивления: развитие ВИЭ в 2018 году. URL: <http://plus-one.rbc.ru/blog/ecology/generator-udivleniya-razvitie-vie-v-2018-godu> (дата обращения 02.04.2019)

²⁰³ RE100 Progress and Insights Report. URL: <http://there100.org/news/14270068> (дата обращения 02.01.2019); Алексеева Н. Зелёная эра: как возобновляемые источники энергии конкурируют с углеводородами и АЭС. URL: <https://russian.rt.com/science/article/445815-vozobnovliaemye-istochniki-energii> (дата обращения: 15.12.2018)

²⁰⁴ Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. URL: <https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017> (дата обращения 15.06.2018)

²⁰⁵ Apple заявила, что полностью перешла на возобновляемую энергию по всему миру. URL: <https://tjournal.ru/68873-apple-zayavila-chto-polnostyu-pereshla-na-vozobnovlyaemuyu-energiyu-po-vsemu-miru> (дата обращения 12.01.2019)

году, а банк JP Morgan сообщил также о намерении вложить в ВИЭ около \$ 200 млрд. до 2025 года. В 2017 году глобальным корпоративным сообществом было оплачено 5,4 ГВт электроэнергии, а за первую половину 2018 года - уже 7,2 ГВт, из которых 1,6 ГВт в Европе.²⁰⁶ С политической точки зрения также очень важно, что в последние годы наиболее успешные инвесторы мира стали серьезно поддерживать «зеленую» энергетику. Так, компании миллиардера У. Баффета ещё в 2012 - 2013 годах приобрели ветровые и солнечные фермы на сумму около \$ 3,5 млрд., а в 2017 году представили план инвестиций на такую же сумму по внедрению к 2020 году ВИЭ кумулятивной установленной мощностью до 3,0 ГВт.²⁰⁷ В 2016 году был создан Фонд «Breakthrough Energy Ventures» с капиталом около \$1,0 млрд. для инвестирования в проекты возобновляемой энергетики. В число основателей этого фонда входят миллиардеры Б.Гейтс (Microsoft), Д.Ма (Alibaba), Р. Бренсон (Virgin Group), Д. Безос (Amazon), М. Сон (Soft Bank), М. Блумберг (Bloomberg LP) и другие, обладающие личным суммарным состоянием порядка \$ 270 млрд.²⁰⁸ Фонд Рокфеллеров присоединился к глобальной инвестиционной инициативе Global Divest-Invest и решил полностью реинвестировать свои активы, связанных с углеводородами на сумму \$ 50 млрд., в развитие технологий чистой энергетики.²⁰⁹ Инициатива Global Divest-Invest стартовала с нуля в 2013 году, в 2018 году уже имела суммарный капитал в \$7,2 трлн., объединив 1013 организации (компании, фонды, институты и т.п.) и 59524 физических лиц, число которых постоянно возрастает (Рис.2.7). Главной целью этого глобального объединения является «изъятие» (divestment)

²⁰⁶ Corporations Already Purchased Record Clean Energy Volumes in 2018, and It's Not an Anomaly. URL: <https://about.bnef.com/blog/corporations-already-purchased-record-clean-energy-volumes-2018-not-anomal>(дата обращения 14.02.2019)

²⁰⁷ Уоррен Баффет вложит \$3,5 млрд. в возобновляемые источники энергии. URL: <http://www.forbes.ru/milliardery/342101-uorren-baffet-vlozhit-35-mlrd-v-vozobnovlyaemye-istochniki-energii>(дата обращения 14.05.2018)

²⁰⁸ Билл Гейтс инвестирует в альтернативную энергию. URL: <https://www.vestifinance.ru/articles/78866> (дата обращения 15.01.2017)

²⁰⁹ Rockefellers go green: Rockefeller foundation divests funds in fossil fuel industries/2014/<https://www.independent.co.uk/environment/climate-change/rockefellers-go-green-rockefeller-foundation-divests-funds-in-fossil-fuel-industries-9749767.html>

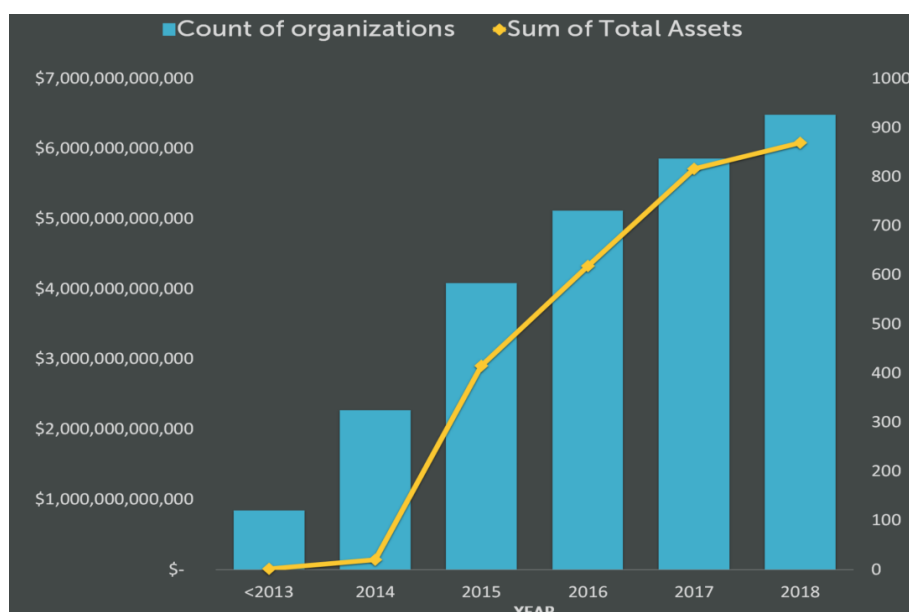


Рисунок 2.7 - Динамика роста организаций-членов и совокупного капитала объединения Global Divest-Invest (слева – капитал в долл. США, справа – число организации). Источник : Global Divest-Invest . URL:<https://www.divestinvest.org> (дата обращения 11.02.2019)

инвестиций из традиционной энергетики , чтобы в течение XXI века до 80% известных глобальных запасов ископаемого топлива остались в земле (примерно 30% запасов нефти, 50% запасов газа и более 80% запасов угля).²¹⁰

Наблюдается пересмотр своих стратегий многими известными компаниями, например, корпорация Dong Energy заявила о продаже всех своих нефтегазовых проектов и переходу на «зеленую» энергетику. В конце 2017 года крупнейший в мире норвежский Фонд Government Pension Fund Global (GPF) , имеющий активы около \$ 1,0 трлн. , а также пакет акций ведущих профильных корпораций (BP, Royal Dutch Shell, Exxon Mobil и т.п.) на сумму \$ 40 млрд., объявил о намерении полностью отказаться от инвестиций в нефтегазовый сектор в пользу ВИЭ..²¹¹ Многие крупнейшие нефтегазовые компании, такие , как Vitol Group, BP, Shell , Total, Royal Dutch, Exxon Mobil , активно инвестируют проекты новых возобновляемых технологий. Корпоративная политика объединяет всё больше серьезных игроков на энергетическом рынке, способных в перспективе обеспечить невиданные ранее объемы частных инвестиций в устойчивую

²¹⁰ Global Divest-Invest . URL:<https://www.divestinvest.org> (дата обращения 11.02.2019)

²¹¹ Крупнейший нефтяной фонд не будет инвестировать в нефтегазовую отрасль. URL:<http://fcinfo.ru/business/1560-krupneyshiy-neftyanoy-fond-ne-budet-investirovat-v-neftegozovuyu-otrasl.html> (дата обращения 14.01.2019)

«зеленую энергетику», что позволит странам БСМ значительно уменьшить уровень государственного субсидирования.

Социальные факторы. Новым важным фактором является расширение масштабов вовлеченности населения в «зеленую энергетику» в странах ЕС, соответствующее рекомендациям пакета мер «Чистая энергия для всех европейцев».²¹² Жителям, как в небольших поселениях, так и в городах, всё шире предлагаются новые технологические и экономические решения, что стимулирует увеличение в распределенной генерации ВИЭ роли «активных» потребителей из домохозяйств с избыточным энергоснабжением, позволяющим им продавать энергию назад сетевым операторам.²¹³ Население часто переходит к общественным формам совместного владения ветровыми и солнечными энергоресурсами, в частности, к созданию энергетических кооперативов. Это направление все шире распространяется в странах БСМ, так, Германия является мировым лидером по энергетическому сотрудничеству - более 40% ВИЭ, установленных в стране в 2017 году, были кооперативной собственностью.²¹⁴ Около 20% всех проектов энергии ветра в Дании также управляются энергетическими кооперативами, что позволило перейти к 100% обеспечению «зеленой» энергией датского острова Самсё, полностью отказавшегося от традиционных источников энергии. Коллективное пользование за последнее десятилетие привело к снижению оптовых цен на рынке ветровой энергии в Дании более чем два раза.²¹⁵ Большие перспективы обеспечивает концепция «умные города с ВИЭ» (SRC – Smart Renewable Cities), которая позволяет сообществам потребителей получать доступ к электроэнергии от солнца и ветра

²¹² Commission proposes new rules for consumer centered clean energy transition. URL: <https://www.kcgpartners.com/commission-proposes-new-rules-consumer-centered-clean-energy-transition> (дата обращения 12.02.2019)

²¹³ Проскуракова Л.Н., Ермоленко Г.В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. ВШЭ. URL: https://issek.hse.ru/data/2017/04/04/1168471430/Renova_Energy.pdf (дата обращения 01.02.2018)

²¹⁴ Friends of the Earth Europe, “Energy atlas,” URL: https://www.foeeurope.org/sites/default/files/renewable_energy/2018/energy_atlas.pdf (дата обращения 11.02.2019)

²¹⁵ Lewis D. Energy positive: How Denmark’s Samsø island switched to zero carbon// Guardian,- 2017. URL: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/feb/24/energy-positive-how-denmarks-sams-island-switched-to-zero-carbon> (дата обращения 11.05.2018)

(или других ВИЭ) , управлять процессом спроса и потребления энергии , взаимодействовать на взаимовыгодных коммерческих условиях с операторами сетей, закупающих возобновляемую энергию.²¹⁶ Одним из мировых лидеров, развивающих концепцию SRC, является немецкий город Гамбург с числом жителей 1,8 млн. человек, который можно рассматривать как главный европейский полигон, где, за счет целевого финансирования ЕС, исследуется и внедряется для широкого использования сообществом новая энергетическая и цифровая инфраструктура ВИЭ.²¹⁷ Уже сейчас, в Гамбурге более 15% потребляемой энергии производится из возобновляемых источников. Общественное владение сетями и ВИЭ в свою очередь ускоряет развитие «зеленой энергетики», повышает интерес и грамотность населения в этой области. Разработана также концепция «умных городов с зелеными полями» (SRC Greenfield), согласно которой возобновляемые и цифровые технологии должны сочетаться с разнообразными видами озеленения с целью обеспечения сообществу потребителей энергии максимальный социальный комфорт и чистую окружающую среду. Примером новой концепции в 2017 году стал план создания Саудовской Аравией на берегу Красного моря крупного города-парка «NEOM», стоимостью \$500 млрд., полностью обеспеченного электроэнергией только от солнца, ветра и накопителей энергии.²¹⁸ Страны БСМ, обладающие самыми передовыми технологиями в области развития ВИЭ и энергосбережения, активно экспортируют их в развивающиеся страны. Такие проекты обычно представляют собой автономные микросети (microgrid) , состоящие из солнечной или ветровой установки небольшой мощности и аккумуляторных батарей. Основным драйвером их внедрения является надежность и экономическая эффективность по сравнению с дизель-генераторными установками, а также возможность населению не использовать дорогую сетевую энергию и продавать избыток электроэнергии в

²¹⁶ EIP - SCC. The marketplace of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities. URL:<https://eu-smartcities.eu/page/about> (дата обращения 11.02.2019)

²¹⁷ Schulz F. Germany: A European laggard on smart cities URL: <https://www.euractiv.com/section/digital/news/germany-a-european-laggard-on-smart-cities> (дата обращения 15.01.2019)

²¹⁸ Garfield L. Saudi Arabia is building a \$500 billion mega-city that's 33 times the size of New York City. URL:<https://www.businessinsider.com/saudi-arabia-mega-city-jordan-egypt-oil-2017-10> (дата обращения 17.02.2019)

сеть.²¹⁹ Преимущества коллективного владения энергией дает возможность расширения прав населения и всестороннего изменения социального уклада. По оценкам Всемирного банка, Международных агентств IEA и IRENA, таким путем в ближайшие двадцать лет можно будет приблизиться к решению проблемы всеобщей электрификации человечества.²²⁰

Энергетические факторы. По данным консалтинговой компании BNEF электрификация транспорта в странах БСМ одновременно обеспечивает ряд положительных эффектов: дополнительный спрос на электроэнергию от переменчивых ВИЭ, стимулируя их рост; значительное увеличение распределенной емкости хранения энергии, повышая гибкость сетей; снижение системных издержек; расширение участия населения и коммунальных предприятий в процессах спроса - потребления энергии ; снижение выбросов парниковых и токсичных газов. Достижение высокого уровня электрификации транспорта Германии и Великобритании, с учетом их энергетической взаимосвязи между собой и хранилищами ГЭС в Норвегии, позволило бы к 2040 году дополнительно сократить выбросы CO₂ на 25% и потребность в ископаемом топливе на 10%.²²¹ Концепция «Автомобиль-сеть» (V2G - Vehicle-to-Grid) предполагает соединение электрического транспортного средства EV (electric vehicles) с сетью через распределенные станции для зарядки их батарей и возврата энергии от батарей в сеть на коммерческих условиях (продажа или специальные тарифы). Путем установки интеллектуальных счетчиков электроэнергии BTM (behind-the-meter) на всех пунктах зарядки деловых, производственных и жилых зданий владельцы EV могут получать различные коммунальные услуги, одновременно поддерживая гибкость интеграции ВИЭ в

²¹⁹ Study helps make microgrids a more reliable power source. URL: <https://www.rdmag.com/news/2017/11/study-helps-make-microgrids-more-reliable-power-source> (дата обращения 14.04.2018)

²²⁰ Tracking SDG7: The energy progress report 2018, IEA, IRENA, UN, World Bank, and WHO. URL: https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/executive_summary.pdf (дата обращения 12.03.2019)

²²¹ Flexibility Solutions for High Renewable Energy Systems. URL: <https://about.bnef.com/blog/flexibility-solutions-high-renewable-energy-systems> (дата обращения 21.01.2019)

энергетическую систему.²²² Доход на один EV в перспективе может в среднем составлять около \$4000 в год. В Дании с помощью пилотной программы Nissan Motor Co и Enel владельцы электромобилей уже ежегодно зарабатывают около 1300 евро/EV в год в режиме V2G.²²³ Достаточно часто, особенно ночью, число припаркованных автомобилей длительное время составляет около 95%, что с помощью цифровых технологий позволяет обеспечить распределенное хранилище большой емкости для электроэнергии, поступающей из сети или возврата её обратно. Предполагая, что из одного миллиона EV по концепции V2G доступно одновременно использовать около 70% транспортных средств, имеющих разряженную наполовину 20 кВт батарею каждое, можем получить хранилище энергии емкостью 7 ГВт-ч.²²⁴ А допуская, что 90% всего парка автомобилей Германии будет заменено на EV, то уже, согласно вышеприведенному расчету, будет доступен гигантский распределенный накопитель энергии емкостью 277 ГВт-ч, что позволит качественно регулировать нагрузку в 83 ГВт, превышающую максимальную нагрузку всей энергосети страны.²²⁵ Операторы сетей, пока ещё не модернизированных для возврата энергии от EV, могут использовать упрощенный режим работы V1G, путем «умной» зарядки EV ночью по сниженным ценам только для сброса излишков электроэнергии, без возврата энергии в сеть. Во всем мире и в первую очередь в странах БСМ уже началось активное создание инфраструктуры сетей контактных и бесконтактных зарядных станций EV, что потребует до 2040 года сотни миллиардов долларов.²²⁶ Для широкого использования электромобилей необходимо создать также высокоэффективные аккумуляторы с большим числом циклов заряда-разряда вместо литий-ионных батарей, требующих дорогого и

²²² Energy Storage is a \$620 Billion Investment Opportunity to 2040. URL:<https://about.bnef.com/blog/energy-storage-620-billion-investment-opportunity-2040> (дата обращения 11.01.2019); New Energy Outlook URL:<https://about.bnef.com/new-energy-outlook> (дата обращения 21.02.2019)

²²³ Germany, Denmark and Belgium pledge fivefold increase to the world's offshore wind capacity in a decade. URL:<https://www.independent.co.uk/news/business/news/germany-denmark-and-belgium-pledge-to-fivefold-the-worlds-offshore-wind-capacity-in-a-decade7775681.html> (дата обращения 22.01.2019)

²²⁴ Транспортное средство в сетку. URL:<https://hisour.com/ru/vehicle-to-grid-42636>(дата обращения 28.05.2018)

²²⁵ Транспортное средство в сетку. URL:<https://hisour.com/ru/vehicle-to-grid-42636>(дата обращения 28.05.2018)

²²⁶ Global EV Outlook 2017. URL:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf> (дата обращения 11.07.2018)

дефицитного кобальта. Сегодня наиболее перспективными являются литий-титанатные батареи, обеспечивающие ускоренную зарядку, например, типа SCiB (Super Charge ion Battery) компании Toshiba.²²⁷ Кроме того, нужно решить также проблемы снижения потерь инверторов при возвращении энергии от батарей в сеть переменного тока и удешевления утилизации токсичных отходов любого типа батарей. Несмотря на перечисленные препятствия, которые могут быть преодолены новыми технологическими решениями, глобальный сектор электрического транспорта имеет большие перспективы развития. К весне 2019 года общее число проданных в мире EV должно было достигнуть пяти миллионов, из них около 42% продаж EV были в Китае, 26% в Европе и 25% в Северной Америке.²²⁸ По прогнозу консалтинговой компании BNEF, к 2025 году во всем мире будет продано 11 млн. EV, а к 2030 году уже 30 млн. EV²²⁹ (рис.2.8).

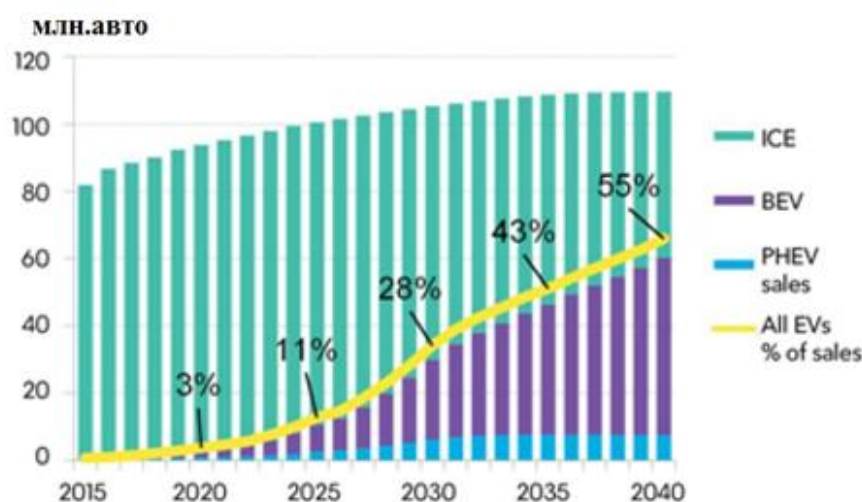


Рисунок 2.8– прогноз роста продаж глобального рынка обычных (ICE) и электрических (BEV, PHEV) автомобилей. Желтая линия – рост числа электромобилей в процентах
 Источник BNEF: E-Buses to Surge Even Faster Than EVs as Conventional Vehicles Fade. URL: <https://about.bnef.com/blog/e-buses-surge-even-faster-evs-conventional-vehicles-fad> (дата обращения 26.01.2019)

Из них в 2030 году 44% EV будут проданы в Европе, 41% в Китае, 34% в США и 17% в Японии. С 2020 года начнут снижаться продажи дизельных или

²²⁷ Дмитриенко И. Зарядись по полной. URL: [/https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-po-polnoj](https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-po-polnoj) (дата обращения 12.01.2019)

²²⁸ Cumulative Global EV Sales Hit 4 Million. URL: <https://about.bnef.com/blog/cumulative-global-ev-sales-hit-4-million> (дата обращения 26.01.2019)

²²⁹ E-Buses to Surge Even Faster Than EVs as Conventional Vehicles Fade. URL: <https://about.bnef.com/blog/e-buses-surge-even-faster-evs-conventional-vehicles-fad> (дата обращения 26.01.2019)

бензиновых автомобилей ICE (internal combustion engine). А к 2040 году число электромобилей может достичь уже 60 млн. единиц, что составит 55% прогнозируемого к этому времени мирового рынка автомобилей. За счет этого ожидается серьезная трансформация мирового энергетического рынка - увеличение глобального спроса на электроэнергию на 6% (на 2,0 ТВт-ч) и сокращение расхода топлива для обычных автомобилей (ICE) на 7,3 миллиона баррелей ежедневно.²³⁰ Мировой рынок накопителей энергии, без учета хранилищ гидроэнергетики, потребует в течении следующих 22 лет около \$620 млрд. инвестиций.²³¹ К 2050 году доля EV должна достигнуть 9% (3,4 ТВт-ч) в глобальном потреблении электроэнергии, а, например, в Германии доля EV должна составить 24% спроса электроэнергии в стране.²³² Согласно сценария REmap в странах ЕС к 2030 году будет использоваться более 40 млн. EV (16% от числа автомобилей в настоящее время), с кумулятивной емкостью батарей хранения 959 ГВт - ч, что гораздо больше, чем по рассмотренному прогнозу BNEF.²³³ Электрификация транспорта в странах БСМ тесно связана с программами по очищению воздуха. В Великобритании для этой цели было выделено около \$12 млрд. и уже с 2019 года, например, запрещен въезд в центр города Лондона автомобилям, нарушающим стандарты по выхлопным газам.²³⁴ В результате, на дорогах страны к 2020 году должно появиться 1,7 млн. EV, а рынок электромобилей должен вырасти с \$100 млн. в 2015 году до \$1,3 млрд.²³⁵ Подобные программы стартовали в Германии, Франции и других странах БСМ. Так, в Германии в 2018 году было решено запретить эксплуатацию около 2,7

²³⁰ E-Buses to Surge Even Faster Than EVs as Conventional Vehicles Fade. URL: <https://about.bnef.com/blog/e-buses-surge-even-faster-evs-conventional-vehicles-fad> (дата обращения 26.01.2019)

²³¹ Energy Storage is a \$620 Billion Investment Opportunity to 2040. URL: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-620-billion-investment-opportunity-2040> (дата обращения 11.01.2019)

²³² New Energy Outlook URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook> (дата обращения 21.02.2019)

²³³ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

²³⁴ Окашин Р. На девяти улицах Лондона запретят бензиновые и дизельные автомобили. URL: <https://hightech.plus/2018/09/07/na-devyati-ulicah-londona-zapretyat-benzinovie-i-dizelnie-avtomobili> (дата обращения 12.03.2019); London considering car-free days in bid to tackle air pollution URL: <https://www.theguardian.com/environment/2018/may/15/london-considering-car-free-days-in-bid-to-tackle-air-pollution> (дата обращения 11.03.2019)

²³⁵ Транспортное средство в сетку. URL: <https://hisour.com/ru/vehicle-to-grid-42636> (дата обращения 28.05.2018)

млн. единиц автомобилей, не соответствующих стандарту Euro-6.²³⁶ Все такие решения будут стимулировать население стран БСМ шире использовать электрический транспорт.

2.3. Барьеры и неопределенности в процессах замещения энергетического сектора стран БСМ

Факторы барьеры. Наиболее серьезным фактором, препятствующим широкой интеграции «зеленой» энергетики в существующие электрические сети, изначально считался нестабильный характер генерации СЗС и ВЭУ, которые относятся к классу переменчивых ВИЭ -VRE (variable renewable energy).²³⁷ Однако, уже к 2010 году были определены основные способы использования переменчивых ВИЭ, обеспечивающие надежное электроснабжение.²³⁸ К ним относятся: широкое географическое распределение VRE; использование резервных традиционных источников энергии; использование излишков энергии от VRE для накопителей энергии и производства водорода или метанола (P2G); широкое распространение электрического транспорта; прогнозирование погоды для «умного» управления спросом - потреблением энергии. Международное энергетическое агентство IEA опубликовало стратегию развития переменчивых ВИЭ²³⁹, которая особое внимание обращает на необходимость учета нового критерия - «системной ценности» SV (system value), определяемого общей пользой от интеграции VRE, с учетом как положительных, так и отрицательных факторов, таких как сокращение выбросов CO₂, изменения капитальных и операционных затрат и т.п.. Принято различать шесть этапов интеграции VRE.²⁴⁰ Часть стран БСМ – Нидерланды, Бельгия ещё находятся на втором этапе, когда

²³⁶ Гоголадзе О. Германия утвердила правила запрета дизельных авто. URL: <https://hightech.plus/2018/05/23/germaniya-utverdila-pravila-zapreta-dizelnih-avto> (дата обращения 18.03.2019)

²³⁷ Wiseman J. et all. Post Carbon Pathways: Towards a Just and Resilient Post Carbon Future. URL: <https://www.resilience.org/stories/2013-05-06/post-carbon-pathways-report-april-2013/> (дата обращения 17.03.2018)

²³⁸ Delucci M., Jacobson M. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies.// Energy policy.- 2011.-N39. URL: <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/DJEnPolicyPt2.pdf> (дата обращения 12.01.2018)

²³⁹ Next Generation Wind and Solar Power. OECD/IEA. URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/NextGenerationWindandSolarPower.pdf> (дата обращения 17.09.2018)

²⁴⁰ Getting Wind and Sun onto the Grid . OECD/IEA . URL: https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/Getting_Wind_and_Sun.pdf (дата обращения 16.08.2018)

доля VRE не превышает 15% в производстве электроэнергии. Проблема нестабильности генерации в этом случае решается путем простого учета прогнозов погоды для управления сетью. Германия и Великобритания находятся на третьем этапе, когда доля VRE в производстве электроэнергии составляет около 25% и уже требуется повышение «гибкости» всей энергетической системы, что обеспечивается управлением спроса и предложения энергии за счет использования накопителей и резервных газовых турбинных установок. Для электросети Дании, находящейся уже на четвертом этапе с долей VRE, достигающей 50%, требуется ещё большая «гибкость», обеспечиваемая расширением электрификации всех секторов экономики.²⁴¹ По оценкам компании IHS Markit, за 2017 год было введено в эксплуатацию до 1,9 ГВт глобальной мощности накопителей энергии, а за 2018 год было создано ещё 3 ГВт.²⁴² Согласно данным компании BNEF, к 2030 году в мире ожидается внедрение до 175 ГВт мощности аккумуляторных батарей, суммарной емкостью 305 ГВт-ч и стоимостью \$ 105 млрд., из которых около 17% придется на ЕС, а также использование в качестве хранилища энергии до 205 ГВт гидроэлектростанций.²⁴³ Дополнительно к этому, к 2030 году объем мирового спроса на аккумуляторы для электромобилей может возрасти до 1300 ГВт-ч²⁴⁴ (Рис. 2.9). Эффективным направлением преодоления барьера VRE является внедрение в сети цифровых технологий для прогнозирования климатических процессов за счет обработки сотни терабайт исторических погодных архивов, данных от спутников и метеостанций, показаний датчиков солнечных панелей и ветровых турбин.²⁴⁵

²⁴¹ Getting Wind and Sun onto the Grid . OECD/IEA .

URL: https://www.iaea.org/publications/insights/insightpublications/Getting_Wind_and_Sun.pdf (дата обращения 16.08.2018)

²⁴² Накопители энергии: итоги 2017 и краткосрочный прогноз. URL: <https://econet.ru/articles/181666-nakopiteli-energii-itogi-2017-i-kratkosrochnyy-prognoz> (дата обращения 15.07.2018)

²⁴³ Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030. URL: <http://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets> (дата обращения 18.08.2018)

²⁴⁴ New Energy Outlook. URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook> (дата обращения 18.01.2019); Дмитриенко И. Зарядись по полной. URL: <https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-po-polnoj> (дата обращения 12.01.2019)

²⁴⁵ Schiermeier Q. Germany Enlists Machine Learning to Boost Renewables Revolution//Nature- 2016. URL:



Рисунок 2.9 – Динамика мирового спроса на аккумуляторные батареи до 2030 года по данным BNEF

Источник: Дмитриенко И. Зарядись по полной. URL: /<https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-po-polnoj> (дата обращения 12.01.2019)

Цифровые системы управления и интеллектуальные инверторы позволяют поддерживать в сетях с переменными ВИЭ стабильные частоту и напряжение при скачках нагрузки более быстро и точнее, чем любые другие источники генерации.²⁴⁶ Широкое объединение энергетических и информационных технологий позволяют VRE стать уже не проблемой интеграции, а эффективным решением гибкой балансировки сети, увеличить её устойчивость и надежность, а также обеспечить различные сетевые услуги. За последнее десятилетие взаимосвязанные сети Германии и Дании, имеющие в своем составе значительное число ветровые и солнечные VRE, стали самыми надежными в мире и обеспечивают гораздо более быстрое восстановление, чем традиционные угольные и газовые станции.²⁴⁷ Уже не раз в экстремальных ситуациях именно

<https://www.scientificamerican.com/article/germany-enlists-machine-learning-to-boost-renewables-revolution> (дата обращения 18.04.2018); Ciriminna R. and all. New energy and weather services in the context of the energy transition// Energy Technology. URL:<https://doi.org/10.1002/ente.201700598> (дата обращения 16.02.2019)

²⁴⁶ Demonstration of essential reliability services by a 300 MW solar photovoltaic power plant.NREL URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67799.pdf> (дата обращения 18.01.2019); Status of power system transformation.Advanced Power Plant Flexibility. IEA. URL: <https://www.21stcenturypower.org/assets/pdfs/main-report.pdf> (дата обращения 18.01.2019);

²⁴⁷ Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets. European Commission, VVA, Copenhagen Economics, Neon, and Deloitte. URL:https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/dg_ener_electricity_market_data_-_final_report_-_22032018.pdf (дата обращения 27.01.2019)

VRE компенсировали недостачу топливных ресурсов, например, когда ветровая энергия в начале 2018 года в Великобритании заменила собой нехватку природного газа.²⁴⁸ По данным дорожной карты развития ВИЭ ЕС (REmap), доля VRE в производстве электроэнергии к 2030 году должна составить в среднем до 29%²⁴⁹, а в странах БСМ эта доля должна достигнуть в Бельгии - 25,5 %, в Германии - 39,5 %, в Дании - 54%, во Франции - 21%, в Нидерландах - 25% и в Великобритании - 40,5% (Рис. 2.10).

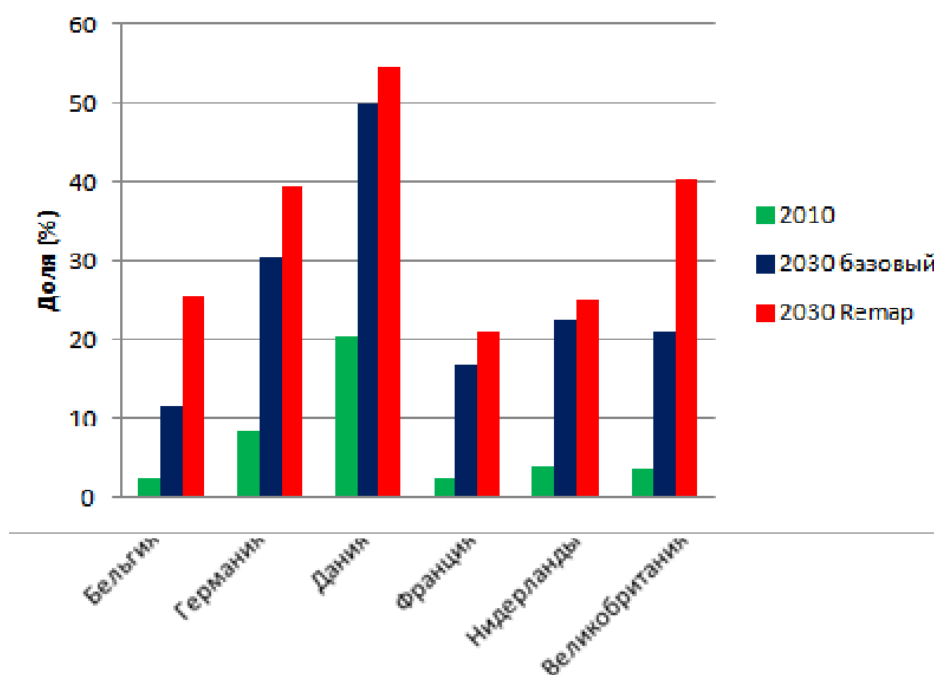


Рисунок 2.10 - Доля переменной возобновляемой энергии в производстве электроэнергии в странах БСМ в 2010 году и в 2030 по сценарию REmap по сравнению с базовым сценарием. Составлено автором, источник: Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

А к 2035 году, например, в Германии, доля VRE должна вырасти уже до 55%.²⁵⁰ Специалисты BNEF считают, что проблема переменной генерации не станет препятствием дальнейшего развития ВИЭ и прогнозируют, что к 2050 году от неё будет производиться более 50% электроэнергии в мире.²⁵¹ По сценарию «Sky»

²⁴⁸ Design J. What beastly weather says about UK energy security. URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-beastly-weather-says-about-uk-energy-security#gs.5i97aj> (дата обращения 23.01.2019)

²⁴⁹ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

²⁵⁰ Сидорович В. Работа энергосистемы, основанной на ВИЭ, в пасмурную и безветренную погоду. URL: <http://renew.ru/the-work-of-a-renewable-energy-system-in-cloudy-and-windless-weather> (дата обращения 12.02.2019)

²⁵¹ New Energy Outlook. URL: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook> (дата обращения 10.01.2019)

развития мировой энергетики, подготовленного нефтегазовой корпорацией Shell ²⁵², для достижения целей Парижского соглашения необходимо будет уже к 2035 году увеличить глобальную установленную мощность солнечных установок в десятки раз (до 6500 ГВт), что потребует их ежегодного прироста в 380 ГВт. По сценарию «Sky» к 2060 году мощность ВИЭ в целом должна увеличиться в 50 раз, а доля ископаемого топлива сократиться на 50% к 2050 году и на 90% к 2070 году. Финские ученые разработали модель «Интернет энергии» (Internet of Energy Model), которая демонстрирует возможность 100% глобального производства электроэнергии к 2030 году только от ветровых и солнечных VRE.²⁵³ Результаты моделирования энергетической трансформации для 139 стран мира в Стэнфордском университете (США), показали , что за счет полной электрификации всех секторов экономики (промышленности, транспорта, сельского хозяйства, отопления/охлаждения и т.д.) доля ВИЭ в обеспечении глобального конечного потребления энергии к 2030 году может достигнуть 80%, а к 2050 году уже 100%.²⁵⁴ При этом, планируется не строить новых ГЭС и отказаться полностью от углеводородной, атомной и биоэнергетики. Для реализации этого сценария необходимо будет внедрить 46,2 ТВт солнечных и ветровых VRE, а также около 6,0 ТВт накопителей энергии, что потребует около \$125 трлн. инвестиций. В то же время, это позволит ежегодно экономить свыше \$50 трлн. на расходы, связанные с загрязнением воздуха и изменением климата.

Факторы неопределенности. Биоэнергетика. Большая неопределенность сегодня наблюдается в секторе биоэнергетики, особенно, по вопросу целесообразности производства и перехода на биотопливо.²⁵⁵ В 2017 году, за счет биоэнергетики было обеспечено более 50% глобального потребления от всех видов ВИЭ, что оказалось в четыре раза больше, чем от совокупной солнечной и

²⁵² Sky scenario/Shell . URL: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky/could-society-reach-the-goals-of-the-paris-agreement.html> (дата обращения 17.03.2019)

²⁵³ Internet of Energy Model . URL:<http://neocarbonenergy.fi/internetofenergy> (дата обращения 19.02.2018)

²⁵⁴ Jacobson M. and all. 100% Clean and Renewable Wind , Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World //Joule. – 2017.- Vol. 1. Iss. 1.- P. 108-121. URL:<https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005> (дата обращения 21.03.2018)

²⁵⁵ Дакалов М.В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС: автореферат дис. ... канд. экон. наук:08.00.14. - Москва, 2015.- 204 с.

ветровой энергии.²⁵⁶ Согласно прогнозу IEA²⁵⁷, , в период между 2018 и 2023 годами биоэнергетика будет иметь самый большой рост потребления среди возобновляемых ресурсов (до 30%) и ожидается увеличение глобального производства биотоплива на 15%. Уже в 2010 году, , доля биоэнергии в ЕС составляла примерно 75% от конечного потребления возобновляемой энергии, а её доля в производстве первичной энергии достигала 8%. Для зданий и промышленности использовалось около 49% биоэнергии, в теплоэнергетике 29%, а остальные 22% приходились на биотопливо в транспортном секторе.²⁵⁸ Однако, в последние годы сокращение объемов субсидирования и бурное развитие солнечных и ветровых ВИЭ привело замедлению роста производства и потребления биоэнергии в ЕС и странах БСМ, а также к отмене ряда перспективных проектов в этом направлении. Но, несмотря на это, дорожной картой REmap развития ВИЭ до 2030 года определена необходимость активной поддержки биоэнергетики, в первую очередь для производства биотоплива , что, как ожидается, должно сократить выбросы парниковых газов на транспорте.²⁵⁹ В ближайшей перспективе биотопливо является единственной альтернативой использованию углеводородного топлива в авиации и судоходстве. В промышленном секторе ЕС требуется около 33% от общего конечного потребления энергии, которая, согласно сценарию Remap , к 2030 году должно будет на 36% покрываться за счет ВИЭ. При этом, около 70% этой энергии пойдет на обеспечение теплом, в том числе высокой температуры, различных производственных процессов и ТЭЦ именно за счет биоэнергетики. По сценарию REmap, к 2030 году производство биоэнергии в ЕС должно стать в два раза больше, чем в 2010 году.²⁶⁰ Ряд специалистов считает, что необходимо срочно

²⁵⁶ How modern bio-energy helps reduce global warming. URL: <https://www.economist.com/the-economist-explains/2018/10/12/how-modern-bio-energy-helps-reduce-global-warming> (дата обращения 15.02.2019)

²⁵⁷ Renewables 2018. Market analysis and forecast from 2018 to 2023/IEA. URL: <https://www.iea.org/renewables2018> (дата обращения 11.02.2019)

²⁵⁸ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

²⁵⁹ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

²⁶⁰ Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

принимать политические и финансовые меры для развития биоэнергетики в целях сохранения глобального потепления ниже 1,5 °С.²⁶¹

Несмотря на прогнозируемые МЭА и ЕС перспективы развития биоэнергетики, будущее её проектов далеко неоднозначно и зависит от оценок экологической чистоты этого направления ВИЭ.²⁶² Быстрый рост использования в странах ЕС биотоплива, главным образом из продовольственных культур, показал, что пальмовое или соевое масло выделяет в атмосферу больше CO₂, чем любое ископаемое топливо.²⁶³ Расчеты авторитетной компании T&E («Transport & Environment») демонстрируют, что существующее законодательство ЕС, способствующее распространению биотоплива на транспорте, приведет не к снижению, а к более высоким выбросам парниковых газов к 2020 году, так как не учитываются в полной мере все климатические последствия.²⁶⁴ В частности, это относится к выбросам CO₂, связанных с косвенным изменением землепользования ILUC (Indirect Land Use Change), которые возникают, когда пахотные земли используются для выращивания сельскохозяйственных культур, как сырья для биотоплива.²⁶⁵ Производство биотоплива из древесных гранул и зеленой массы приводит к многократному увеличению нагрузки на сельхозугодия и уничтожению лесов. Сельское хозяйство для продуктов питания или кормов часто переносят на луга и леса, которые после преобразования их в пахотные земли, значительно теряют способность поглощать CO₂. Основное биотопливо в ЕС - биодизель на основе пальмового масла - имеет самые высокие выбросы парниковых газов, в три раза превышающие выбросы ископаемого топлива, если учитывать расширение плантаций пальмовых деревьев, которое ведет к обезлесению и уничтожению торфяников в Азии, Латинской Америке и Африке.

²⁶¹ Modern bioenergy is critical to meeting global climate change goals. URL: <http://www.climatechangenews.com/2018/10/11/modern-bioenergy-critical-meeting-global-climate-change-goals> (дата обращения 11.02.2019)

²⁶² How modern bio-energy helps reduce global warming. URL: <https://www.economist.com/the-economist-explains/2018/10/12/how-modern-bio-energy-helps-reduce-global-warming> (дата обращения 15.02.2019)

²⁶³ Алексеева Н. Зелёная эра: как возобновляемые источники энергии конкурируют с углеводородами и АЭС. URL: <https://russian.rt.com/science/article/445815-vozobnovliaemye-istochniki-energii> (дата обращения: 15.04.2018)

²⁶⁴ Biofuels. URL: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/biofuels> (дата обращения: 12.02.2019)

²⁶⁵ Land use change. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/land-use-change> (дата обращения: 12.02.2019)

Отмечается, что из-за производства пальмового масла, например, только в Индонезии каждый час уменьшаются лесные массивы площадью 300 футбольных полей.²⁶⁶ Учет всех составляющих выбросов биотоплива показывает, что использование биодизеля повышает уровень парниковых газов на транспорте на 10%, по сравнению с обычными оценками.²⁶⁷ Поэтому, по мнению экспертов компании T&E, наиболее радикальным решением достижения климатических целей Парижского соглашения является обеспечение максимальной электрификации транспортного сектора и только незначительное развитие биотоплив.²⁶⁸ Расширение площадей вырубки лесов полностью противоречит рекомендациям экспертов МГЭИК- ИРСС о критически важной необходимости сохранения лесных массивов.²⁶⁹ Активисты глобальной сети экологической бумаги EPN (Environmental Paper Network) выступили с заявлением к мировой общественности, где говорится: «Защита и восстановление мировых лесов - это решение проблемы изменения климата, а их сжигание – нет».²⁷⁰

Барьер утилизации. Среди других неопределенностей развития возобновляемой энергетики можно отметить проблемы с утилизацией, как различного типа аккумуляторов, так и стремительно растущего числа солнечных панелей. В настоящее время утилизация тонны литий-ионных батарей достигает \$2 тысяч и требует субсидирования.²⁷¹ Только достигнув самоокупаемости переработки элементов ВИЭ можно увеличивать масштабы их производства, для чего постоянно ведутся поиски новых материалов и технологий.

Барьер природных ресурсов. По оценкам Всемирного банка, в 2017 году, обеспечение 50% доли возобновляемой электроэнергии в мировой экономике к 2050 году, потребует десятки миллионов тонн меди, свинца, цинка, алюминия и

²⁶⁶ The Global Forest Coalition. URL:<https://globalforestcoalition.org> (дата обращения 15.03.2019)

²⁶⁷ EU ends target for food-based biofuels and phases out palm oil in cars only in 2030. URL: <https://www.transportenvironment.org/press/eu-ends-target-food-based-biofuels-and-phases-out-palm-oil-cars-only-2030> (дата обращения 25.02.2019)

²⁶⁸ Fixing Europe's clean fuels policy. URL: <https://www.transportenvironment.org/publications/fixing-europe%E2%80%99s-clean-fuels-policy> (дата обращения 23.05.2018)

²⁶⁹ New briefing reveals shocking scale of planned forest biomass industry growth. URL: <https://globalforestcoalition.org/biomass-threat-map> (дата обращения 14.02.2019)

²⁷⁰ The biomass delusion. URL: <https://environmentalpaper.org/the-biomass-delusion> (дата обращения 11.03.2019)

²⁷¹ Дмитриенко И. Зарядись по полной. URL: <https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-po-polnoj> (дата обращения 12.01.2019)

железа.²⁷² Для быстрого роста производства ВИЭ, накопителей энергии и электрификация транспорта также необходимо увеличение глобального потребления серебра, индия, лития, кобальта, неодима и диспрозия. Например, по прогнозу инвестиционного банка Goldman Sachs, увеличение парка электрического транспорта в мире только на 1,0% приводит к росту потребления лития примерно на 33% (70 тыс.тонн) от ежегодного глобального объема его производства.²⁷³ В 2019 году специалисты вновь обратили внимание на эту проблему в связи с планом стран ЕС резко расширить масштабы внедрения ВИЭ для сокращения выбросов CO₂ на 55% к 2030 и до нуля к 2050 году, а также с их призывом ко всем странам мира сделать тоже самое у себя.²⁷⁴ Исходя из цели 100% глобального производства электроэнергии за счет ВИЭ, данные Всемирного банка были пересчитаны и показали, что для достижения нулевых выбросов к 2050 году потребуется 34 млн.тонн меди, 40 млн.тонн свинца, 50 млн.тонн цинка, 162 млн. тонн алюминия и около 4,8 тонн.железа.²⁷⁵ По другим оценкам, при активном расширении рынка спрос на неодим для турбин ВЭУ может возрасти в 2 раза, на серебро и индий для солнечных батарей на 100% и 920% соответственно, на литий для батарей на 2700%.²⁷⁶ Если не принять необходимых мер, стремительные темпы добычи могут привести не только к истощению и нехватке основных природных ресурсов, но и к широкому обезлесению и разрушению экологии окружающей среды. Например, для производства лития требуется большое количество воды, что приводит к дефициту воды для полива плодородных земель, загрязнению грунтовых вод, рек и водных систем.

²⁷² The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. URL:<http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf> (дата обращения 12.08.2019)

²⁷³ Крюков В.А., Зубкова С.А. Реиндустриализация без своих РЗМ? // ЭКО. – 2016. – № 8. – С. 5-24.

²⁷⁴ EU Commission proposes 50-55% emissions cut by 2030 in Green Deal. URL: <https://www.rechargenews.com/transition/eu-commission-proposes-50-55-emissions-cut-by-2030-in-green-deal/2-1-722451> (дата обращения 10.12.19)

²⁷⁵ The Limits of Clean Energy. URL: <https://foreignpolicy.com/2019/09/06/the-path-to-clean-energy-will-be-very-dirty-climate-change-renewables/> (дата обращения 19.10.19)

²⁷⁶ The Limits of Clean Energy. URL: <https://foreignpolicy.com/2019/09/06/the-path-to-clean-energy-will-be-very-dirty-climate-change-renewables/> (дата обращения 19.10.19)

Летом 2019 года ведущие ученые Великобритании, поддерживающие необходимость перехода в мировой экономике к нулевым выбросам, обратилась в Комитет по изменению климата.²⁷⁷ По их расчетам, для замены к 2050 году только всех существующих сегодня автомобилей Великобритании на электрические, потребуется около 50% мирового производства меди 2018 года (2,4 млн. тонн), удвоенное мировое производство кобальта (208 тыс.тонн), 75% мирового производства лития (265 тыс.тонн) и почти все мировое производство неодима и диспрозия (7,2 тыс.тонн). Такой же анализ относительно всего прогнозируемого а 2050 год количества электромобилей в мире (2 млрд. EV), показал необходимость колоссального увеличения глобальной ежегодной добычи ископаемых ресурсов от текущего времени до 2050 года : меди в 2 раза, кобальта в 2 раза, неодима и диспрозия на 70%. В анализе также учитываются огромные затраты на электроэнергию, составляющие, например, для производства одной тонны кобальта около 8000 кВт-ч. Получение всех металлов и материалов, необходимых для создания прогнозируемого на 2050 год глобального числа электромобилей, потребует объем электроэнергии, превышающий в 4 раза всю годовую генерацию Великобритании. Если обеспечивать зарядку 2 млрд. электромобилей в мире только от ВЭУ , то для их создания понадобится десятилетний объем глобального годового производства неодима и диспрозия, а если только от СЭС, то тридцатилетний объем производства теллура. Оказалось, что рост производства экологически чистых ВИЭ может, подобно ископаемому топливу, привести к нарушению устойчивого развития мировой экономики. Становится весьма вероятной в ближайшем будущем глобальная политическая и даже военная борьба за ископаемые ресурсы для ВИЭ во всем мире , аналогичная наблюдавшейся в последние десятилетия в мировой экономике борьбе за углеводородные ресурсы. Примером могут служить события в Боливии в 2019

²⁷⁷ Leading scientists set out resource challenge of meeting net zero emissions in the UK by 2050. URL:<https://www.nhm.ac.uk/press-office/press-releases/leading-scientists-set-out-resource-challenge-of-meeting-net-zero.html> (дата обращения 21.10.19)

году, одной из основных причин которых являются огромные месторождения лития в этой стране.

По мнению авторов обращения и ряда других экспертов,²⁷⁸ возможным решением этой глобальной экологической проблемы быстрого развития ВИЭ, кроме повышения энергоэффективности, совершенствования технологий добычи, создания новых материалов, является повсеместное добровольное и законодательное снижение до разумного минимума завышенного потребительского спроса на автомобили, предметы роскоши и на другие товары, не являющиеся жизненно необходимыми, прежде всего в развитых странах с высоким ВВП. Предполагается, что это позволит значительно снизить рост общего потребления энергии во всех секторах мировой экономики и обеспечить необходимый для климатической политики рост ВИЭ.

Следует отметить, что, несмотря на имеющиеся барьеры и неопределенности большинство из рассмотренных факторов влияния второго рода дает дополнительное ускорение динамике процессов замещения, а их синергия в сочетании с триадой новой устойчивой энергетической политики обеспечивает кумулятивные и мультипликативные эффекты экспоненциального роста технологий и ресурсов ВИЭ (Рис.2.11).

Выводы по второй главе:

1. Наибольшее влияние на процессы замещения в ЕС и странах БСМ оказывают политические факторы первого порядка - энергобезопасность, энергоэффективность и климатическая политика, объединенные парадигмой устойчивого развития мировой экономики и общества. Сформировавшаяся на их базе «триада» новой глобальной энергетической политики, возглавляемой

²⁷⁸ Leading scientists set out resource challenge of meeting net zero emissions in the UK by 2050.

URL: <https://www.nhm.ac.uk/press-office/press-releases/leading-scientists-set-out-resource-challenge-of-meeting-net-zero.html> (дата обращения 21.10.19); The Limits of Clean Energy. URL: <https://foreignpolicy.com/2019/09/06/the-path-to-clean-energy-will-be-very-dirty-climate-change-renewables/> (дата обращения 19.10.19)



Рисунок 2.11 - Совокупное влияние факторов второго порядка на динамику процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах БСМ
Составлено автором

странами БСМ, совместно с различными, выявленными в исследовании, факторами второго порядка оказывает мультипликативный эффект ускорения

развития технологий возобновляемой энергетики во всех секторах мировой экономики.

2. Важнейшим фактором влияния на процессы замещения стал допустимый уровень глобального потепления, от достоверности которого сегодня полностью зависят политические решения трансформации сектора энергетики мировой экономики и степень необходимости срочных дорогостоящих мер для предотвращения климатической катастрофы. Экологические требования могут изменить макроэкономическую логику на рынке углеводородов и привести к переориентации инвесторов в пользу стратегии максимального использования ВИЭ во всех секторах экономики.

3. Быстрое снижение LCOE и рост мощности различных видов ВИЭ ведут к тому, что уже чаще стало экономически выгодней внедрять новые проекты возобновляемой энергетики, чем эксплуатировать или создавать традиционные электростанции. Наиболее важным для становления «зеленой» энергетики стран БСМ стал период с 2007 по 2013 год, когда на базе модели «тройной спирали» (государство, наука, бизнес) выполнялось целевое инвестирование НИОКР всех видов технологий ВИЭ. Но с 2014 года мировым лидером по инвестициям вместо ЕС стал Китай. Глобальные инвестиции в ВИЭ уже в 2017 году оказались в три раза больше инвестиций в проекты генерации на ископаемом топливе.

4. Государственная поддержка развития ВИЭ в ЕС с 2008 до 2016 года увеличилась в 2,5 раза (до 75 млрд. евро). За этот же период субсидирование традиционной энергетики не прекращалось, а даже увеличилось до 55 млрд. евро в 2016 году, что противоречит призывам стран БСМ к государствам мира выполнять свои климатические обязательства. Быстро растущими инструментами привлечения капиталов на рынок ВИЭ без государственного субсидирования стали соглашения о покупке электроэнергии РРА, а также коммерческие тендеры и аукционы. К 2030 году в странах БСМ должно быть внедрено до 60 ГВт проектов ВИЭ без субсидирования.

5. Новым важным фактором влияния стала корпоративная политика закупок возобновляемой электроэнергии и поддержку развития ВИЭ крупнейшими

частными инвесторами, ведущими компаниями и банками мира. а также объединениями потребителей , типа инициатив RE100 или Global Divest-Invest. Таким путем обеспечивается переход значительных объемов финансовых потоков из традиционной в альтернативную энергетику, что усиливается фискальными мерами для сектора углеводородов, направленных на сохранение ископаемых ресурсов в земле. Наблюдается тенденция пересмотра бизнес - стратегий ногими ведущими энергетическими и нефтегазовыми компаниями мира в пользу развития «зеленой» энергетики.

6. Важным фактором влияния в странах БСМ является переход к общественным формам совместного владения ВИЭ и к созданию энергетических кооперативов. Большие перспективы в этом направлении обеспечивает концепция «умных городов с ВИЭ», которая позволяет сообществам потребителей управлять процессом спроса и потребления возобновляемой энергии. Активизация странами БСМ экспорта технологий ВИЭ среди сообществ развивающихся стран ведет к решению проблемы всеобщей электрификации человечества.

7. Широкая электрификация и цифровизация транспорта в странах БСМ по концепции «Автомобиль-сеть» способна обеспечить снижение выбросов парниковых и токсичных газов, а также дополнительный спрос на электроэнергию от СЭС и ВЭУ, стимулируя рост их мощностей; значительное увеличение распределенной емкости хранения энергии, повышая гибкость сетей; снижение системных издержек; расширение участия населения и коммунальных предприятий в процессах спроса - потребления энергии. Ожидается, что в странах ЕС к 2030 году электрический транспорт обеспечит суммарную емкость батарей хранения свыше 959 ГВт - ч.

8. Основным препятствием широкой интеграции зависящих от погодных условий, переменчивых ВИЭ в существующие электрические сети изначально считался их нестабильный характер генерации. Но, уже найдены эффективные меры преодоления этого недостатка за счет широкого использования накопителей энергии, резервных газовых турбин и повышения уровня электрификация всех секторов экономики. Цифровые системы прогноза погодных условий и

оперативного управления позволяют поддерживать стабильные параметры сети при скачках нагрузки более быстро и точнее, чем с любыми другими источниками генерации, что позволяет солнечными и ветровыми ВИЭ стать уже не проблемой интеграции, а эффективным решением гибкой балансировки сети, увеличения её устойчивости и надежности.

9. Несмотря на прогнозируемые МЭА и ЕС перспективы развития биоэнергетики, доминирование биомассы в производстве энергии без учета всех последствий, связанных с изменением землепользования и уничтожением лугов, болот и лесов, может привести к высоким выбросам парниковых газов. Среди других неопределенностей развития «зеленой» энергетики следует отметить серьезные проблемы с утилизацией различного типа аккумуляторов, стремительно растущего числа солнечных панелей и других элементов ВИЭ. Важнейшей новой проблемой для опережающего развития возобновляемой энергетики в климатических целях становится потребность в огромных объемах различных природных ресурсов, в том числе и очень редких. Резкое увеличение темпов добычи может привести не только к истощению ископаемого сырья, но и к широкому разрушению экологии окружающей среды и устойчивого развития мировой экономики. Возможны торговые, геополитические и даже военные конфликты, аналогичные происходящим в глобальном нефтегазовом секторе.

10. Усилиями стран БСМ подготовлена политическая, нормативно - правовая, финансовая и технологическая платформа для достижения своей главной цели - снижения до нуля выбросов парниковых газов к 2050 году и сохранения лидерства энергетической трансформации в мировой экономике.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА ПРИМЕРЕ СТРАН БСМ

3.1. Аналитический факторный подход к оценке динамики и эффективности процессов энергетической трансформации в странах мира

3.1.1. Факторы - индикаторы справедливых оценок эффективности процессов трансформации в энергетическом секторе мировой экономики

В последние годы в мире стали использоваться различные новые модели оценок динамики, экономической эффективности и целесообразности энергетической трансформации. Например, исследование Международного агентства IRENA под названием «Преимущества возобновляемой энергетики: экономические измерения»²⁷⁹, базируется на многофакторной эконометрической модели ЕЗМЕ компании Cambridge Econometrics²⁸⁰, состоящей из взаимосвязанных между собой энергетического, экономического, технологического и климатического модулей. Главными макроэкономическими факторами - индикаторами социально и экологически справедливо ориентированной новой энергетики, оцениваемыми этим инструментом, являются ВВП, благосостояние, занятость и международная торговля (Рис.2.1).

Внутренний валовой продукт. Расчетные данные, полученные IRENA²⁸¹, показали, что рост доли ВИЭ до 36% к 2030 году в глобальном потреблении энергии увеличивает глобальный ВВП на 0,6% (сценарий REmap) или 1,1% (сценарий электрификации REmapE) по сравнению с базовым сценарием, что составляет соответственно \$706 млрд. или \$1,3 трлн. (Табл.3.1). Положительное влияние широкого внедрения ВИЭ на рост ВВП объясняется увеличением инвестиций, необходимых для этого и для создания цепочек производств высокого уровня в

²⁷⁹ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁸⁰ E3ME: Our Global Macro-econometric Model. URL: <https://www.camecon.com/how/e3me-model> (дата обращения 11.04.2017)

²⁸¹ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

Таблица 3.1

Основные макроэкономические факторы-индикаторы динамики процессов замещения традиционной энергетики на ВИЭ

Глобальные факторы-индикаторы	Сценарий RE map 2030 год		Сценарий REmapE 2030 год	
	Величина	Проценты	Величина	Проценты
Внутренний валовый продукт (рост)	На \$706 млрд.	На 0,6%	На \$1,1 трлн.	На 1,1%
Благосостояние	---	На 2,7%	---	На 3,7%
Занятость населения	На 10,9 млн. чел.	На 44,8%	На 9,3 млн. чел	На 41%
Импорт ископаемого топлива (снижение)	На \$104 млрд.	---	На \$181 млрд.	---

Составлено автором. Источник: Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

экономически развитых государствах, таких как страны БСМ. Даже при сценарии REmap в Германии, Франции и Великобритании ВВП увеличится примерно на 1%. А в государствах - экспортерах ископаемого топлива, например, в Саудовской Аравии, развитие ВИЭ может привести к снижению ВВП за счет сокращения рынка углеводородов. Для реализации в глобальной энергетике к 2030 году сценария REmap потребуются ежегодные инвестиции в ВИЭ от \$500 до \$750 млрд., при том, что в 2014 году они составляли около \$280 млрд.²⁸² Величина необходимых инвестиций возрастает, если удвоение доли ВИЭ будет происходить по сценарию REmapE - электрификации всех секторов экономики. Предполагаемое увеличение инвестиций в ВИЭ обеспечит до 2030 года увеличение общих инвестиций в мировую экономику на 1,8% по сценарию REmap и на 3,1% по сценарию REmapE, а также положительное влияние на рост глобального ВВП, даже если учитывать сокращение инвестиций в нефтегазовый сектор. Значительная доля новых инвестиций в ВИЭ будет поступать из частного сектора благодаря снижению финансовых рисков. На увеличение ВВП будет оказывать влияние также постоянное снижение издержек на производство и эксплуатацию технологий ВИЭ по сравнению с традиционной энергетикой, что

²⁸² Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

обеспечит к 2030 году снижение цен на электроэнергию. За счет этого снизится инфляция, увеличатся реальные доходы и потребление домашних хозяйств, и повысится экономическая активность в энергоемких секторах.

Благосостояние. Исследование IRENA показало, что использование ВИЭ во всех секторах мировой экономики обеспечивает максимальные социальные выгоды с точки зрения доходов, здоровья, образования, занятости и общего благосостояния людей.²⁸³ Известно, что в ВВП не включаются оценки благосостояния в широком экономическом смысле, например, не учитывают ущерб от заболеваний и смертности населения при загрязнении окружающей среды по причине разливов нефти, добычи и транспортировки углеводородного сырья. Многие виды деятельности влияют на увеличение ВВП, но благосостояние не улучшается, а, наоборот, снижается. Например, добыча и экспорт больших объемов ископаемого топлива приводит к росту ВВП, но истощение месторождений уменьшает доступные природные ресурсы у будущих поколений. Не учитываются в ВВП также огромные экономические потери из-за бедствий, вызванных изменением климата или конфликтами за доступ к ископаемым ресурсам. Поэтому, оценки показателей благосостояния должны не заменять, а дополнять ВВП. Оценка благосостояния включается в расчетную модель ЕЗМЕ²⁸⁴ в виде измеряемых величин, обеспечивающих устойчивость экономики по трем основным направлениям: экономическому, включая потребление и инвестиции в производство; социальному, включая человеческий капитал, здравоохранение и образование; экологическому, включая выбросы парниковых газов и истощение природных ресурсов за счет потребления материалов. Одним из основных показателей благосостояния людей является Индекс развития человеческого потенциала HDI (Human Development Index), учитывающий доходы от роста здравоохранения и образования. Страны БСМ отличаются как

²⁸³ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁸⁴ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

большими ВВП, так и высокими уровнями индекса HDI, но, обычно, между этими показателями для различных стран нет прямой связи. В основе инициативы ЕС по измерению благосостояния, дополнительно к ВВП, лежат работы нобелевского лауреата - экономиста Д. Стиглица²⁸⁵, к которым Всемирный банк добавил необходимость учета природного капитала (сельскохозяйственных территорий, лесов, полезных ископаемых и энергетических ресурсов) и нематериального капитала (институционального, социального и человеческого). В 2015 году произошло уточнение показателей измерения благосостояния в результате принятия ООН концепции устойчивого развития мировой экономики, в которой было определено 17 целей, помимо роста ВВП.²⁸⁶ Удвоение доли ВИЭ к 2030 году в глобальной энергетике приведет по сценарию REmap к увеличению глобального благосостояния на 2,7%, что больше роста ВВП в этом сценарии на 0,6%, а сценарий REmapE позволит увеличить благосостояние на 3,7% (Табл.3.1). Расчеты показали, что для Германии по сценарию REmap благосостояние может увеличиться на 3%, а по сценарию REmapE уже на 4,2%, соответственно, для Великобритании на 1,5% и на 2,3%, для Дании на 2% и 2,8%, для Франции на 2,3% и 3%.²⁸⁷

Занятость населения. Трудоустройство населения, связанное с расширением сектора возобновляемой энергетики мировой экономики, обеспечивает устойчивый рост ВВП и благосостояния, а также является ядром формирования широких социальных целей, таких как сокращение нищеты и сплоченность общества. Исследования в этом направлении, выполненные в 2015 году совместно Организацией ООН по промышленному развитию и Институтом глобального зеленого роста (UNIDO & GGGI)²⁸⁸, а также международной

²⁸⁵ Stiglitz E. and all. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. URL:<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/118025/118123/Fitoussi+Commission+report> (дата обращения 14.01.2019)

²⁸⁶ Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development , United Nation. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> (дата обращения 24.02.2019)

²⁸⁷ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁸⁸ Global Green Growth: Clean Energy Industrial Investments and Expanding Job Opportunities. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2015-05/GLOBAL_GREEN_GROWTH_REPORT_vol1_final_0.pdf (дата обращения 10.08.2018)

организацией Гринпис (Greenpeace)²⁸⁹ оказались очень важными для принятия решений политиками и формирования отношения общественности к «зеленой» энергетике. Социально-экономический вклад использования ВИЭ оценивается по всем цепочкам добавленной стоимости во всех секторах мировой экономики, включая консалтинг и финансовые услуги; научные исследования и разработку проектов; изготовление и поставки оборудования; строительство, монтаж и сборка энергоустановок; эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и т.п. В глобальной возобновляемой энергетике 2014 года было занято 9,2 млн. человек, из них всего в ЕС около 653 тыс., в Германии более 371 тыс. и во Франции 176 тысяч человек. По расчетам IRENA занятость в глобальном энергетическом секторе, включая ВИЭ, традиционную и атомную энергетику достигнет 2030 году почти 51 млн. человек.²⁹⁰ Удвоение доли ВИЭ обеспечит занятость в глобальном секторе альтернативной энергетики в случае базового сценария до 13,5 млн. человек, а при сценарии максимальной электрификации REmapE - уже 22,8 млн. человек (Табл.3.1). Важную роль в создании рабочих мест играет перепрофилирование специалистов из отрасли традиционной энергетики в сектор возобновляемых технологий.²⁹¹ Развертывание ВИЭ будет положительно влиять на занятость в других секторах мировой экономики путем торговли, а также за счет создания новых предприятий и услуг в различных странах или регионах.

Международная торговля. Наибольшие среднегодовые темпы роста, около 12%, наблюдались с 1995 по 2014 годы в глобальном секторе экспорта ископаемого топлива, стоимость объема которого за этот период возросла в 8 раз до \$4,0 трлн., и к 2014 году составляла 17% от общего глобального экспорта.²⁹²

²⁸⁹ Energy Outlook 2015 . 100% Renewable Energy for All , Amsterdam, Netherlands. URL:https://www.duesseldorf.greenpeace.de/sites/www.duesseldorf.greenpeace.de/files/greenpeace_energy-revolution_erneuerbare_2050_20150921.pdf (дата обращения 14.11.2017)

²⁹⁰ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁹¹ Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. URL:<https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017> (дата обращения 15.06.2018)

²⁹² World Trade Organization . International Trade Statistics . URL: https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its2015_e.pdf (дата обращения 14.04.2018)

Увеличение доли ВИЭ в секторе энергетики мировой экономики ведет к сокращению импорта традиционного топлива зависимыми от ресурсов странами, а также увеличивает спрос на инвестиции в высокотехнологичные товары и услуги. По данным IRENA²⁹³, глобальное удвоение доли ВИЭ обеспечит сокращению мирового импорта угля на 50% и нефтегазовых ресурсов на 7%, что позволит к 2030 году сократить общий импорт ископаемого топлива на \$104 млрд. по сценарию REmap и на \$181 млрд. по сценарию REmapE, при прогнозной цене на нефть \$129/баррель (Табл.3.1). Для стран - экспортеров углеводородного топлива, таких, например, как Саудовская Аравия, где экспорт нефти составляют 25% от ВВП²⁹⁴, сокращение спроса приводит к снижению ВВП. Однако, своевременная диверсификация экономик таких стран, с сокращением доли ископаемого топлива, позволит значительно снизить риски торговых потерь, связанных с глобальными процессами замещения. Например, реализация планов Совета стран Залива – GCC (Gulf Cooperation Council) в области «зеленой» энергетики может обеспечить суммарную экономию 2,5 млрд. баррелей нефти от 2015 до 2030 года, что составляет \$55-87 млрд.²⁹⁵ Страны ЕС расходуют на импорт углеводородного топлива свыше 7% своего совокупного ВВП, потому для стран БСМ сокращение импорта ископаемого топлива обеспечивает значительное улучшение торгового баланса, а также уменьшение зависимости от колебаний цен на ископаемое топливо и повышение энергетической безопасности. Учитывая капиталоемкий характер технологий ВИЭ, во всех странах мира ожидается значительное повышение спроса на инвестиционные товары и услуги, появление новых рынков и торговых потоков, создание новых цепочек добавленной стоимости. При этом, страны, которые уже экспортируют новейшие технологии ВИЭ, такие, как страны БСМ, имеют явные преимущества. В целом, для ЕС

²⁹³ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics. IRENA. URL: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁹⁴ World Bank .World Development Indicators Database . URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/795941468338533334/pdf/956820PUB097810til0Apr140at010300am.pdf> (дата обращения 10.01.2018)

²⁹⁵ Roadmap For A Renewable Energy Future. URL: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_2016_edition_report.pdf?la=en&hash=F574B2A80F2EDB BECD3BE02C6AC4B3E2D016FEB2(дата обращения 11.02.2018)

удвоение доли ВИЭ по сценарию REmap на 2030 год должно привести к увеличению экспорта на \$15 млрд. и на \$21 млрд. по сценарию REmapE (Табл.3.1).²⁹⁶ Следует отметить высокую степень преимущества передачи технологий из нефтегазового сектора в сектор ВИЭ, например, в морскую ветроэнергетику²⁹⁷, что позволит многим компаниям перепрофилировать свой бизнес и стать участниками процесса глобальной трансформации мирового энергетического сектора.

3.1.2 Обоснование и апробация аналитического факторного подхода оценки динамики и эффективности процессов замещения в странах мира на примере Германии

Теоретическое обоснование подхода. Математическая модель ЕЗМЕ, лежащая в основе рассмотренного исследования IRENA²⁹⁸ отличается сложным алгоритмом и необходимостью обширной статистики, для чего требуется много времени и средств. Однако, достаточно важно проводить относительно быстро оценки динамики и экономической эффективности процессов замещения традиционной энергетики на ВИЭ. Такой упрощенный аналитический подход, предложенный автором работы²⁹⁹, рассматривается далее в настоящем разделе. Для стран БСМ важным является фактор энергетической безопасности или результативности замещения, а также факторы выгоды внедрения технологий ВИЭ в реальные сектора экономики и фактор рациональность этих процессов. В предлагаемом подходе эти факторы рассматриваются на фоне подробного анализа ситуации с процессами замещения в стране (регионе) за определенный период. Экономическая эффективность процесса замещения в общем случае может быть определена через соотношение полученных доходов от реализации

²⁹⁶ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁹⁷ World Energy Outlook.

URL:<https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook>(дата обращения 14.01.2019)

²⁹⁸ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

²⁹⁹ Горлов А.А. Методика оценки динамики процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика.- 2016.- №3.- С.21-28

энергетических ресурсов и расходов (как текущих, так и капитальных), связанных с созданием инфраструктуры и генерацией энергетических ресурсов из традиционных и возобновляемых источников. При этом, желательно также учитывать уровни экологической нагрузки при эксплуатации тех или иных источников энергии. Набор формул для расчета индикаторов экономической эффективности (IE) процессов замещения приведен в приложении Г (Табл.Г1). В работе³⁰⁰ предлагается оценивать рациональность замещения одних источников энергии другими через показатель экономичности с учетом рыночной цены единицы замещаемого энергетического ресурса и его объема, а также стоимости совокупных расходов (текущих и капитальных), связанных с замещением. С учетом этого, предлагается использовать уточненный расчет индикатора рациональности замещения (IR), используя данные энергоемкость экономики и социально-бытового сектора при использовании возобновляемых и традиционных источников в стране (Прил., табл. Г1). Результативность динамики замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии целесообразно оценивать через уровень энергетической безопасности. Нами была использована методическая основа расчета этого показателя, изложенная в работе³⁰¹, но дополненная и адаптированная с учетом разрабатываемого подхода. Энергетическая безопасность отдельно взятого региона (страны) оценивается на базе расчета трех коэффициентов: энергетической обеспеченности, достаточности энергетического обеспечения и качества развития региона. Набор формул для расчета этих коэффициентов и результирующего индикатора результативности (IS) приведен в приложении (Табл.Г1). В соответствии с разработанным подходом, предлагается выделять три возможных состояния динамики и эффективности процессов традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии:

³⁰⁰ Каравайков В.М., Гаркушина С.В. Комплексная оценка эколого-экономической эффективности использования альтернативного моторного топлива в регионе // Региональная экономика: теория и практика. - 2009. - №. 3(96) – С.9-14

³⁰¹ Васиков А.Р., Салихов Т.П., Гараев З.В. Упрощенная оценка уровня энергетической безопасности на базе широкодоступной информации // Институт систем энергетики им. А.Л. Мелентьева. - 2010. URL: <http://isem.irk.ru/symp2010/papers/RUS/S6-12r.pdf> (дата обращения 12.03.2018)

* динамика процессов замещения характеризуется экстенсивностью, если темпы роста индикатора результативности (IS) ниже темпов роста индикаторов экономической эффективности (IE) и рациональности (IR). То есть, возобновляемая энергетика ещё пока не обеспечивает в полной мере рост социально-экономических выгод от развития её инфраструктуры и генерируемых энергетических ресурсов;

* динамика процессов замещения характеризуется интенсивностью, если темпы роста индикатора результативности выше темпов роста индикаторов экономической эффективности и рациональности. Это означает, что достигнуты социально-экономические выгоды от развития и эксплуатации ВИЭ;

* динамика процессов замещения характеризуется сбалансированностью, если темпы роста индикатора результативности равнозначны темпам роста индикаторов экономической эффективности и рациональности.

Обоснование выбора страны БСМ для апробации подхода. Основным «полигоном» процессов замещения в странах БСМ является Германия - лидер энергетической трансформации в мировой экономике.³⁰² Германия бедна собственными энергетическими ресурсами, поэтому около 70 % потребляемой энергии обеспечивается за счет импорта нефти, нефтепродуктов, газа, каменного угля и урана (Прил., рис. Г1).³⁰³ К 2015 году уровень энергетической зависимости (EDR- energy dependence ratio) Германии составлял 61,9%, а в 2017 году уже поднялся до 63,9%. (Рис.3.1),³⁰⁴ Для сравнения, в 2015 году этот показатель в Дании составлял 13,4%, а в Великобритании - 37,3%.³⁰⁵ В соответствии с

³⁰² Lutz C., Breitschop D. Systematisierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und Verteilungswirkungen der Energiewende // GWS Research Report 2016/01.

URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/systematisierung-gesamtwirtschaftlichen-effekte-und-verteilungswirkungen-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (дата обращения 11.05.2018)

³⁰³ Eurostat. Energy production and imports. URL: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports#Energy_security (дата обращения 12.06.2018)

³⁰⁴ Statista. Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016.

URL: <https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany> (дата обращения 14.07.2018)

³⁰⁵ Eurostat. Energy dependence .

URL: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_rd320&plugin=1 (дата обращения 14.07.2018)

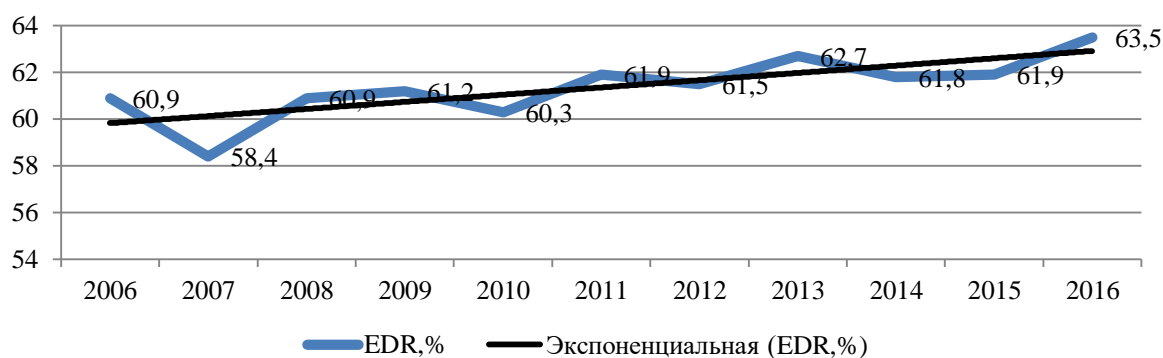


Рисунок 3.1 – Динамика уровня энергетической зависимости EDR Германии
Составлено автором. Источники: Statista . Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016.
URL:<https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany> (дата обращения 14.07.2018)

концепцией энергетического перехода (Energiewende)³⁰⁶ правительство Германии для снижения уровня EDR осуществляет план замещения ископаемого и ядерного топлива на возобновляемые ресурсы во всех секторах экономики страны. Принятие в 2000 году «Закона о ВИЭ» (EEG – Erneuerbare Energien Gesetz)³⁰⁷, привело к быстрому росту в Германии доли биомассы, ветра и солнца в производстве электроэнергии, чему способствовало два инструмента нового Закона: обязательство энергосетей принимать в приоритетном порядке электроэнергию от ВИЭ и гарантированные выплаты производителям возобновляемой электроэнергии по фиксированным льготным тарифам. В качестве основных целей энергетической трансформации определено расширение использования ВИЭ, сокращение выброса парниковых газов, обеспечение гибкости и надежности поставок энергии, снижение потребления первичной энергии и повышение энергоэффективности (Прил., табл. Г2). В 2017 году более 33% электроэнергии в Германии производилась от ВИЭ³⁰⁸, а в 2018 году генерация от ВИЭ достигла уже 41,5%, из которых 28,4% пришлось на

³⁰⁶ Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung . URL: <https://archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/energiekonzept-final-data.pdf?download=1> (дата обращения 11.05.2018)

³⁰⁷ Erneuerbare-Energien-Gesetz.

URL:https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl100s0305.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl100s0305.pdf%27%5D__1554832189882 (дата обращения 17.04.2018)

³⁰⁸ Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2018 году. URL:<https://www.dw.com/ru/возобновляемые-источники-выйдут-на-1-е-место-в-энергетике-фрг-в-2018-году/a-42081787> (дата обращения 19.02.2019)

переменчивые СЭС (8,2%) и ВЭУ (20.2%)..³⁰⁹ Как считают специалисты, в 2019 году ВИЭ, в первую очередь ветровые, обгонят традиционную энергетику в электрической генерации страны³¹⁰, что уже произошло с атомной энергетикой, от которой планируется отказаться полностью к 2022 году. Государственная поддержка ВИЭ за 2008 -2016 годы обеспечила снижение оптовых цен на электроэнергию в странах БСМ в среднем на 5 евро / МВт-ч, но при этом затраты на развитие ВИЭ легли на плечи конечных потребителей и увеличились за этот период в среднем в 3,7 раз (с 6,4 евро / МВтч до 23,9 евро / МВтч в 2016 году).³¹¹ Средние расходы потребителей на «зеленую» энергетику в 2016 году составили в Великобритании 27,7 евро/МВт-ч, в Дании - 24,7 евро/МВт-ч, в Бельгии и Франции -16,9 и 11,8 евро/МВт-ч (Прил. ,табл. Г3). В Германии по закону EEG потребители обязаны платить «взнос на развитие ВИЭ» (EEG Surcharge), который включается в розничный тариф по оплате за электроэнергию, что, например, к 2016 году вызвало повышение финансовой нагрузки на население примерно на 21,4%³¹² и составило, в среднем, 44,8 евро/МВт-ч (Прил. ,табл. Г3). От взноса на ВИЭ в Германии освобождаются некоторые энергоемкие промышленные объекты (например, металлургические), а также просьюмеры (prosumer), к которым относятся все потребители электроэнергии, способные продавать её излишки в сеть, такие, как домашние хозяйства, энергетические кооперативы, малый бизнес и электротранспорт. В 2016 году просьюмерами стран БСМ уже обеспечивалось около 50% рынка солнечной микрогенерации, только в Германии в этом секторе их насчитывается свыше 1,7 млн.³¹³ В начале 2018 года коалиция политиков разных партий Германии

³⁰⁹ Сидорович В. ВИЭ выработали 41,5% электроэнергии в ФРГ в первом полугодии 2018 года. URL:<http://renew.ru/res-generated-41-5-of-electricity-in-germany-in-the-first-half-of-2018> (дата обращения 19.04.2019)

³¹⁰ Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2018 году. URL:<https://www.dw.com/ru/возобновляемые-источники-выйдут-на-1-е-место-в-энергетике-фрг-в-2018-году/a-42081787> (дата обращения 19.02.2019)

³¹¹ Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households/2018 URL:<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

³¹² Микрогенерация на основе ВИЭ. Аналитический центр при Правительстве РФ// Энергетический бюллетень .- 2017.-№ 49. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf> (дата обращения 16.09.2018)

³¹³ Микрогенерация на основе ВИЭ. Аналитический центр при Правительстве РФ// Энергетический бюллетень .- 2017.-№ 49. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf> (дата обращения 16.09.2018)

заклучили соглашение о новой амбициозной цели – достижении к 2030 году 65% потребления электроэнергии от ВИЭ, из которых около 75 % придется на переменчивые солнечные и ветровые установки.³¹⁴ Для этого потребуются рост каждой из этих технологий ВИЭ примерно на 5-6 ГВт ежегодно. Для решения возникающих проблем немецким центром Agora Energiewende были проработаны основные мероприятия, позволяющие модернизировать и оптимизировать работу сетей.³¹⁵ К ним относятся : замена части высоковольтных кабелей; внедрение цифрового управления распределением нагрузок в сети; повышение гибкости сети за счет быстрого подключения резервных энергоблоков и накопителей энергии; полная замена операторов сетей на автоматику и т.п. Несмотря на все достижения ВИЭ, в 2017 году Германия всё же импортировала на 15% природного газа больше , чем в 2016 году, который, к тому, обошелся ей дороже на 27%. Ускоренная интеграция ВИЭ в существующие, «старые» распределительные сети и рост уровня энергетической зависимости не позволяют однозначно положительно оценивать динамику и эффективность процессов замещения в энергетике страны и требуют специальных исследований.

Апробация аналитического факторного подхода на примере энергетического сектора экономики Германии в период 2010- 2016 годы

Индикатор результативности замещения (IS) возможно оценивать через показатель энергетической безопасности страны с использованием показателей энергетической обеспеченности, достаточности энергетического обеспечения и качества развития страны. Следует отметить, что использование расчетной формул коэффициентов энергетической обеспеченности в ее исходном виде (Прил., табл.Г1) затруднено для практических оценок по причине отсутствия полной статистической информации по обеспеченности отдельно по возобновляемым и традиционным энергетическим ресурсам потому, что

³¹⁴ Coalitions' renewables plans would overstrain German grid - agency head // Clean Energy Wire (CLEW). URL: <https://www.cleanenergywire.org/news/efficiency-target-danger-report-concerns-about-future-grid/coalitions-renewables-plans-would-overstrain-german-grid-agency-head> (дата обращения 14.02.2019)

³¹⁵ Stromnetze für 65 Prozent Erneuerbare bis 2030 Agora Energiewende.. URL: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Stromnetze_fuer_Erneuerbare_Energien/Agora-Energiewende_Synchronisierung_Netze-EE_Netzausbau_WEB.pdf (дата обращения 24.01.2019)

электроэнергия, выработанная теми и другими источниками, поступает в одну сеть и в дальнейшем неразделима. В то же время, энергетическая безопасность в масштабах страны зависит от доли импорта энергии, диверсификации стран-импортеров энергии и диверсификации источников энергии. Уровень энергетической зависимости EDR (E_D) является в ЕС одним из ключевых индикаторов достижения цели Стратегии устойчивого развития ³¹⁶, а также индикатором эффективности использования ресурсов при решении задач энергоэффективности.³¹⁷ Динамика показателя энергетической зависимости для Германии (рис.3.1) рассчитывается по методике Евростата.³¹⁸ Высокий уровень диверсификации поставщиков энергии, снижает энергозависимость государств (регионов) и повышает их энергетическую безопасность. Для оценки уровней диверсификации нами предлагается использовать индекс Херфиндаля-Хиршмана ³¹⁹, рассчитанный для оценки уровня диверсификации источников импорта по долям стран - импортеров источников энергии в общей стоимости импорта, а для оценки уровня диверсификации источников энергии – по доле источника энергии в энергетическом балансе страны:

$$HHI_s = \sum_{i=1}^n S_i^2, \quad (3.1)$$

где S_i – доля i -ой страны-импортера в общем объеме импорта энергии; n – количество стран-импортеров энергии;

$$HHI_R = \sum_{j=1}^k R_j^2, \quad (3.2)$$

где R_j – доля j -ого источника энергии в энергетическом балансе; k – количество источников энергии в энергетическом балансе страны.

³¹⁶ Transforming our World : the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nation. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> (дата обращения 11.07.2018)

³¹⁷ Энергетическая концепция Федерального правительства Германии // Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi). URL: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html> (дата обращения 17.09.2018)

³¹⁸ Statista. Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016. URL: <https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany> (дата обращения 14.07.2018)

³¹⁹ Member States Energy Dependence: An Indicator - Based Assessment European Commission. Economic and Financial Affairs. Occasional. URL: http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/occasional_paper/2013/pdf/ocp145_en.pdf (дата обращения 11.04.2018)

Значение индекса Херфиндаля-Хиршмана может варьироваться от 0 до 1. Величина индекса HHI_S , равная единице означает, что весь объем импорта энергии поступает из одного источника, что делает страну более уязвимой в бесперебойных поставках энергии по конкурентным ценам и наоборот, значение индекса HHI_S , близкое нулю, означает слабую зависимость импорта энергии от одного конкретного источника поставок. Аналогично, величина индекса HHI_R , близкая нулю, означает, что энергетический баланс страны не зависит от одного конкретного источника энергии, в то время как $HHI_R = 1$ означает высокую зависимость от одного единственного источника энергии. Отсюда индикатор энергетической безопасности страны будет иметь вид:

$$IS = \frac{1}{E_D \cdot HHI_S \cdot HHI_R} \quad (3.3)$$

Расчет уровней индексов HHI_S , HHI_R (Прил., табл. Г4, Г5) и на основе полученных по ним данных индикатора энергетической безопасности IS по формуле 3.3 показал, что, не смотря на проводимую активную энергетическую политику, уровень энергетической безопасности Германии с 2013 года имел по 2016 год тенденцию к снижению (Табл. 3.2).

Таблица 3.2

Индикатор уровня энергетической безопасности Германии, %

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Уровень энергозависимости Германии по методике Евростата (рис. 3.1)	60,3	61,9	61,5	62,7	61,8	61,9	63,5
HHI_S	-	-	0,171	0,144	0,15	0,166	0,187
HHI_R	0,203	0,201	0,205	0,206	0,204	0,206	0,208
Индикатор уровня энергетической безопасности Германии	-	-	46,39	53,79	52,98	47,29	40,53

Источник: составлено и рассчитано автором на основе: Statista. Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016. URL: <https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany> (дата обращения 14.07.2018); Энергетическое исследование 2016, 2015, 2014, 2013, 2012. Федеральный институт сырья (BGR).

URL https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/produkte_node.html?tab=Energiestudien (дата обращения 19.06.2018)

На рост показателя энергетической зависимости оказывает влияние также снижение производства первичной энергии от собственных энергетических ресурсов. Внутренними энергоносителями Германии являются только лигнит и биогенные отходы, энергия солнца, ветра и энергия биомассы. **Индикатор рациональности замещения (IR)**. Вторым важнейшим показателем в предлагаемом подходе оценки динамики замещения является индикатор рациональности замещения, который мы предлагаем рассчитывать через показатель энергоемкости (Прил. , табл.Г1). Однако, расчет энергоемкости экономики и социально-бытового сектора с учетом, как использования ВИЭ, так и использования традиционных источников энергии, на практике пока затруднителен в виду того, что традиционные и возобновляемые источники энергии используются одновременно и в разных пропорциях в каждый момент времени. Снижение энергоемкости повышает величину обратного ему показателя энергоэффективность экономики и приносит дополнительные экономические и экологические выгоды. Возрастающее использование энергии ВИЭ приводит к сокращению использования ископаемых источников, прежде всего каменного угля и нефти, что способствует сокращению выбросов парниковых газов. К примеру, в 2016 году по данным Федерального агентства по охране окружающей среды (UBA), в Германии было предотвращен выброс 161 млн тонн в эквиваленте CO₂, в том числе секторе энергетики - 119 млн тонн, в секторе отопления – 34 млн тонн.³²⁰ Предотвращенные выбросы с макроэкономической точки зрения можно рассматривать как дополнительно произведенное в стране благо – чистый воздух, что дает основание включить их в ВВП. Однако, относительная затрудненность оценки стоимости предотвращенных выбросов не позволили пока учесть их в наших расчетах. В упрощенном варианте индикатор рациональности замещения (**IR**) можно рассчитывать через энергоэффективность, как отношение затрат на энергию в расчете на душу населения к произведенному в стране ВВП на душу населения:

³²⁰ Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2016 . Umweltbundesamt (UBA).

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger> (дата обращения 12.07.2018)

$$IR = \frac{CE}{GNP} \quad (3.4)$$

Где: CE – затраты на все виды энергии в национальной экономике на душу населения, GNP – ВВП на душу населения.³²¹

Расчеты показали, что в период с 2010 года по 2016 год в Германии наблюдались постоянный рост затрат на энергию для граждан страны и рост индикатора рациональности замещения IR (Рис.3.2).

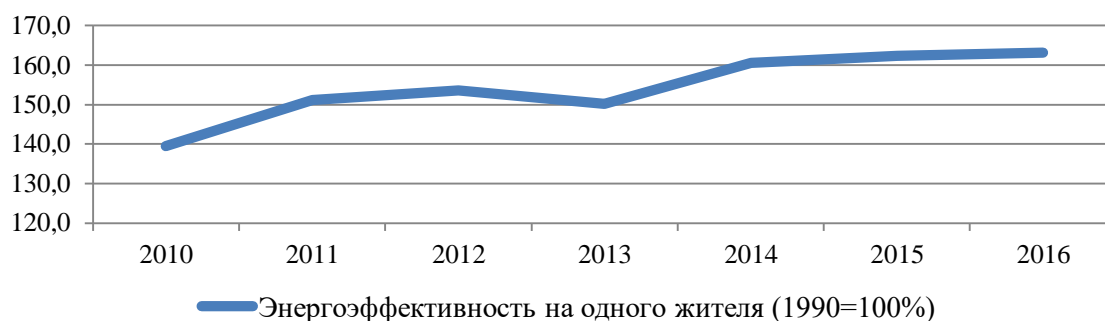


Рисунок 3.2 - Динамика индикатора рациональности замещения IR экономики Германии в процентах относительно 1990 года (100%). Составлено автором. Источник: Energiedaten: Gesamtausgabe. Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMW). URL: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (дата обращения 29.05.2018)

Энергоэффективность является одними из ключевых целевых показателей политики трансформации энергетики Германии, по которому на период с 2008 по 2050 гг. запланирован рост в размере 2,1% ежегодно (Прил.,табл. Г2).

Индикатор экономической эффективности (IE) – выгоды от внедрения ВИЭ.

В общем случае экономическую эффективность процесса замещения целесообразно определять соотношением полученных доходов и расходов, связанных с развитием возобновляемой энергетики (Прил.,табл. Г1) В Германии в 2016 году было выработано в общей сложности 382 ТВт·ч возобновляемой энергии, из которых около 49% (188 ТВт·ч) приходилось на электроэнергию, около 43% (164 ТВт·ч) - на отопления и около 8% на транспорт (30 ТВт·ч). Наибольший вклад в производство электроэнергии из ВИЭ внесла энергия ветра. По нашим расчетам на основании данных Федерального министерства экономики

³²¹ Energiedaten: Gesamtausgabe. Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMW). URL: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (дата обращения 29.05.2018);

и энергетики (BMWi)³²², темпы прироста общего потребления первичной энергии от ВИЭ несколько снижались на протяжении ряда лет по 2016 год включительно (Рис.3.3). Но, в то же время, с 2010 по 2016 год потребление ветровой электроэнергии в абсолютных значениях увеличилось в 2 раза, а солнечной электроэнергии 3,3 раза. Поэтому, при оценке динамики процессов замещения традиционных источников энергии на ВИЭ, целесообразно прежде всего рассматривать эти виды возобновляемой электроэнергетики.

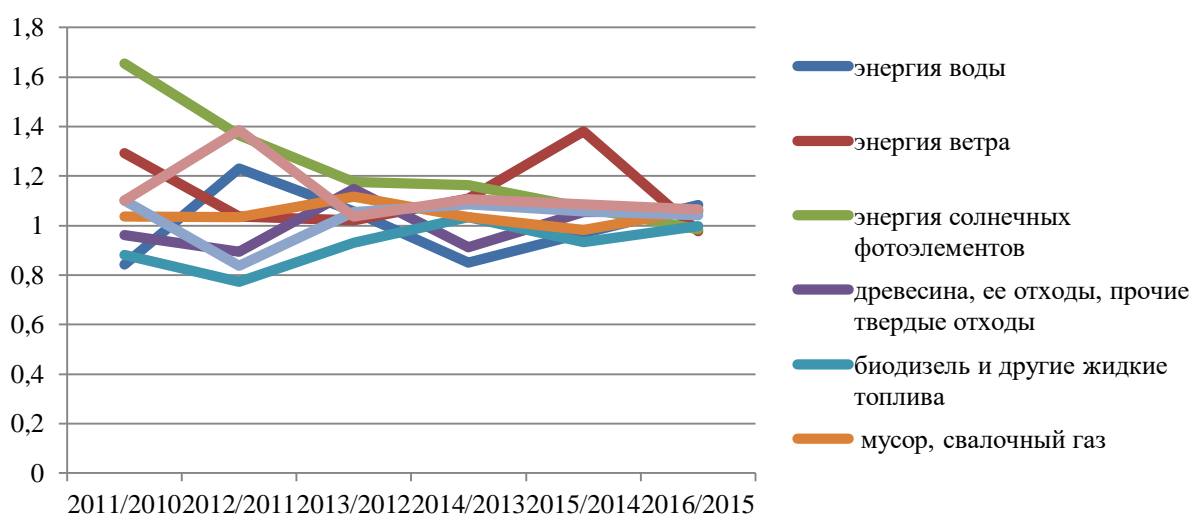


Рисунок 3.3 - Темпы прироста потребления первичной энергии на основе ВИЭ Источник: составлено и рассчитано автором на основе : Energiedaten: Gesamtausgabe. Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi). URL.: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (дата обращения 29.05.2018)

Замена традиционных источников энергии на ВИЭ, в соответствии с концепцией энергетического перехода, должна принести экономические выгоды всем субъектам национальной экономики : сектору электроэнергетики, домашним хозяйствам, добывающим и сектору отраслям промышленности.³²³

Эффективность замещения для сектора электроэнергетики. На рынке электроэнергетики Германии работают четыре крупных независимых сетевых оператора - 50Hertz, Amprion, TenneT и TransnetBW , обеспечивающих снабжение

³²² Energiedaten: Gesamtausgabe. Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi). URL.: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (дата обращения 29.05.2018);

³²³ Lutz C., Breitschop D. Systematisierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und Verteilungswirkungen der Energiewende // GWS Research Report 2016/01. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/systematisierung-gesamtwirtschaftlichen-effekte-und-verteilungswirkungen-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (дата обращения 11.05.2018)

электроэнергией населения и предприятия Германии.³²⁴ Расчет эффективности замены традиционных источников на ВИЭ предлагается выполнять через относительный показатель эффективности - рентабельность расширения использования возобновляемых источников энергии ($R_{ВИЭ}$), как соотношение разности доходов четырех независимых сетевых операторов, обусловленные развитием ВИЭ к их расходам, связанным с расширением технологий выработки электроэнергии на основе ВИЭ:

$$R_{ВИЭ} = \frac{TR_{ВИЭ} - TC_{ВИЭ}}{TC_{ВИЭ}} \cdot 100, \quad (3.5)$$

Где: $TR_{ВИЭ}$ - доходы четырех независимых сетевых операторов, обусловленные развитием ВИЭ; $TC_{ВИЭ}$ –расходы четырех сетевых операторов, связанные с расширением технологий генерации на основе ВИЭ (Табл.3. 3).

Таблица 3.3
Рентабельность расширения использования возобновляемых источников энергии

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
$TR_{ВИЭ}$ млрд евро	11029	17428	17294	21844	24590	24592	24910
$TC_{ВИЭ}$ млрд евро	12324	16053	20066	19378	21513	24113	25355
$R_{ВИЭ}$, %	-11	9	-14	13	14	2	-2

Источник: рассчитано автором на основе: Годовая финансовая отчетность операторов немецкой сети передачи электроэнергии . Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber (netztransparenz.de). URL: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> (дата обращения 07.04.2018)

Скачкообразный характер динамики рентабельности расширения ВИЭ объясняется нестабильностью дополнительных доходов и расходов, связанных с их развитием. Речь идёт о том, что большие объёмы переменчивой генерации на основе солнца и ветра требуют частого и особого вмешательства оператора в работу сетей и системы.³²⁵ К примеру, в 2015 году данные дополнительные расходы составили 710 млн. евро, а в 2016 году, который отличался слабыми

³²⁴ Годовая финансовая отчетность операторов немецкой сети передачи электроэнергии. Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber ((netztransparenz.de) . URL: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> (дата обращения 07.04.2018)

³²⁵ Годовая финансовая отчетность операторов немецкой сети передачи электроэнергии . Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber ((netztransparenz.de) . URL: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> (дата обращения 07.04.2018)

ветрами, снизились до 660 млн. евро. А в 2017 году расходы, связанные с чрезвычайными мероприятиями по стабилизации сетевого хозяйства, снова увеличились до 1,0 млрд. евро, что почти на 4% превысило издержки 2016 года. Согласно балансу четырех энергетических операторов Германии, 25,7 млрд. евро, из 26,3 млрд. евро общих затрат на поддержку развития ВИЭ в 2017 году, составили льготные тарифы и премиальные выплаты.³²⁶ Немецкое Агентство по управлению сетевым хозяйством (Bundesnetzagentur) считает, что текущая ситуация пока не создаёт рисков надежности энергоснабжения, но, что расходы электросетевых компаний страны, обусловленные внедрением ВИЭ, будут продолжать расти. Поэтому, по мнению этого Агентства, амбициозные цели нового коалиционного правительства по достижению 65-процентной доли потребления электроэнергии от ВИЭ к 2030 году, может привести к тому, что энергетическая сеть Германии не справится с дополнительными потоками электроэнергии.³²⁷

Эффективность замещения для домашних хозяйств (Едх) целесообразно рассчитывать на основе трех индексов:

- индекса ($I_{ЭН}$), показывающего изменения расходов домашних хозяйств на энергию в общем объеме расходов домашних хозяйств, и рассчитываемого, как отношение индекса цен на энергию ($C_{ЭН}$) к индексу потребительских цен ($C_{ДХ}$) для каждого года;

- индекса ($I_{ЭЛ}$), характеризующего динамику изменения расходов домашних хозяйств на электроэнергию, и исчисляемого, как отношение расходов на электроэнергию ($C_{ЭК}$) к потреблению электроэнергии ($Q_{ДХ}$) для каждого года;

- индекса ($I_{ВИЭ}$) доплат домашних хозяйств на развитие ВИЭ, и рассчитываемый, как отношение доплат домашних хозяйств на ВИЭ ($C_{ВИЭ}$), к сокращению выбросов парниковых газов ($B_{ПГ}$) для каждого года.

³²⁶ Expenditure on Germany's renewable energy support hits record high // Clean Energy Wire (CLEW).- 2018. URL: <https://www.cleanenergywire.org/news/north-sea-wind-power-47-record-renewables-support-expenses/expenditure-germanys-renewable-energy-support-hits-record-high> (дата обращения 23.05.2018)

³²⁷ Ramped up renewables expansion will aggravate existing Energiewende problems – opinion // Clean Energy Wire (CLEW).- 2018. URL: <https://www.cleanenergywire.org/news/govt-backs-buyers-premium-clean-diesel-difficult-renewables-goal/ramped-renewables-expansion-will-aggravate-existing-energiewende-problems-opinion>(дата обращения 27.04.2018)

Формула для расчета индекса $E_{ДХ}$ эффективности замещения на ВИЭ в домашних хозяйствах имеет следующий вид:

$$E_{ДХ} = 1 / (I_{ЭН} \cdot I_{ЭЛ} \cdot I_{ВИЭ}) \quad (3.6)$$

Если с расчетами первых двух индексов для домашних хозяйств, всё относительно понятно, то индекс доплат за развитие ВИЭ требует некоторых пояснений. В Германии частные потребители применяют стратегию экономии энергии, и в том числе электроэнергии. За последние 20 лет среднее немецкое домохозяйство сократило потребление энергии на 10%, что меньше потребления среднего домохозяйства в других крупных промышленно развитых странах БСМ, таких как Франция или Великобритания. По данным Федерального министерства экономики и энергетики (BMWi), начиная с 2000 года стоимость электроэнергии в Германии постоянно растет, и в течение нескольких лет, включая 2017 год, была примерно на 50% больше, чем в среднем по странам ЕС.³²⁸ В начале 2018 года ежемесячный счет за электроэнергию для среднего немецкого домохозяйства, состоящего из трех человек с общим годовым потреблением электроэнергии 3500 кВт·ч, достиг 85,8 евро³²⁹, что стало с учетом инфляции примерно на 32 % выше уровня 1998 года, и на 72 % выше в номинальном выражении. Это связано с ростом надбавки за ВИЭ (по закону EEG) в общей структуре цены за электроэнергию (Рис.3.4), которая к 2018 году составила чуть более 23 % (Рис.3.5). Согласно данным Ассоциации энергетики и водного хозяйства ФРГ (BDEW), в 2018 году домашние хозяйства были обязаны оплатить треть (8,6 млрд. евро) из общей суммы надбавки на ВИЭ в 24 млрд. евро³³⁰, в то время, как

³²⁸ Годовая финансовая отчетность операторов немецкой сети передачи электроэнергии . Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber (netztransparenz.de).

URL: <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> (дата обращения 07.04.2018)

³²⁹ Strompreisanalyse // BDEW. – 2018.

URL: https://www.bdew.de/media/documents/180109_BDEW_Strompreisanalyse_Januar_2018.pdf (дата обращения 11.06.2018)

³³⁰ Strompreisanalyse // BDEW. – 2018.

URL: https://www.bdew.de/media/documents/180109_BDEW_Strompreisanalyse_Januar_2018.pdf (дата обращения 11.06.2018)

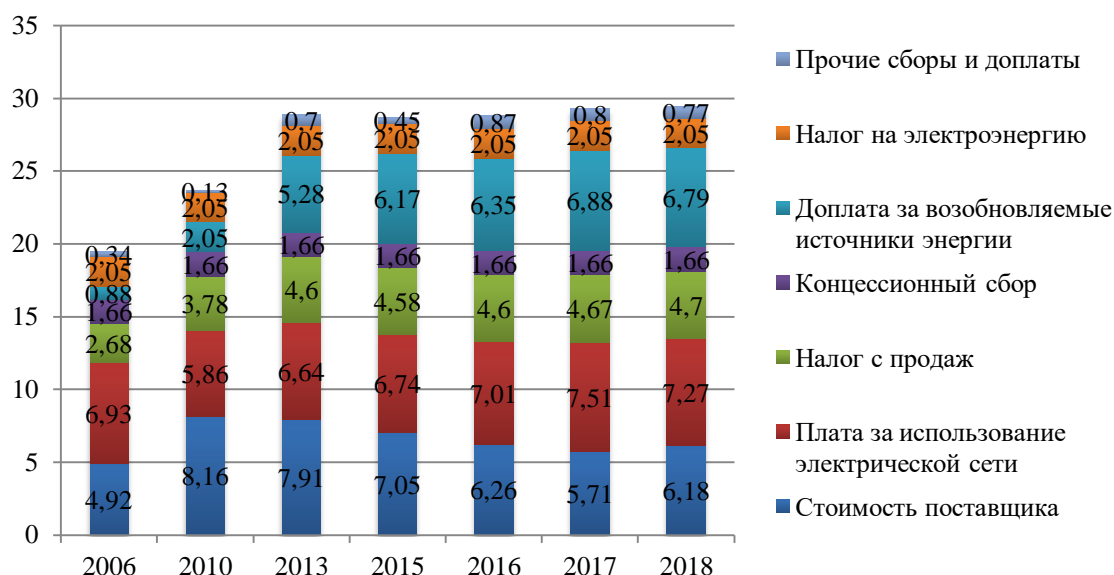


Рисунок 3.4 – Структура цены за электроэнергию для домохозяйств (евроцент/кВт·ч) Составлено автором. Источник: Strompreisanalyse // BDEW. – 2018. URL: https://www.bdew.de/media/documents/180109_BDEW_Strompreisanalyse_Januar_2018.pdf (дата обращения 11.06.2018)

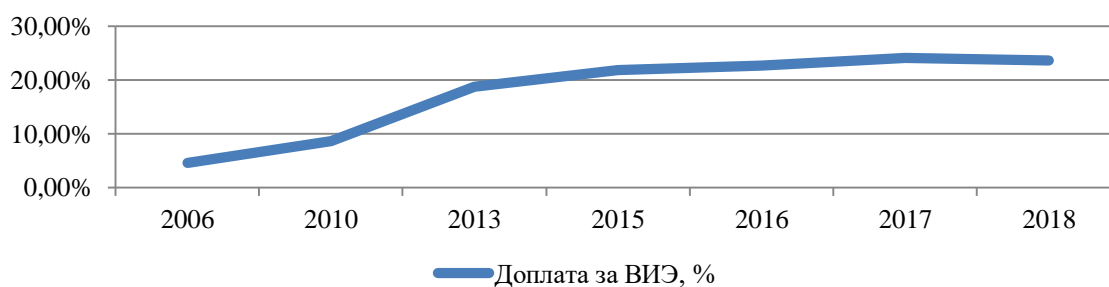


Рисунок 3.5 – Динамика доплаты за ВИЭ (% для домохозяйств в Германии) Составлено автором. Источник: Strompreisanalyse // BDEW. – 2018. URL: https://www.bdew.de/media/documents/180109_BDEW_Strompreisanalyse_Januar_2018.pdf (дата обращения 11.06.2018)

по данным Агентства по охране окружающей среды Германии (UBA), они потребляли менее четверти электроэнергии страны.³³¹

Расчет индекса $E_{дх}$ экономической эффективности замещения традиционных источников энергии на ВИЭ для электроснабжения домашних хозяйств Германии представлен в приложении (Табл.Г6), а результаты графически представлены на рисунке 3.6. Исследования, проведенные нами в предыдущих главах, показали,

³³¹ Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2016. Umweltbundesamt (UBA).

URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger> (дата обращения 12.07.2018)



Рисунок 3.6 - Динамика индикатора экономической эффективности замещения для домашних хозяйств Германии

Источник: составлено и рассчитано автором на основе: Energiedaten: Gesamtausgabe. Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi). URL:.

<http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html> (дата обращения 29.05.2018)

что уровень использования ВИЭ в промышленности стран БСМ пока очень мал, поэтому экономическая эффективность энергетической трансформации в этом секторе экономики в расчетах не учитывалась.

В целом, результаты оценки динамики основных индикаторов, полученные на основе разработанного нами аналитического факторного подхода и характеризующие процессы замещения традиционных источников на ВИЭ в Германии, приведены в приложении (Табл. Г7) и на рисунке 3.7.

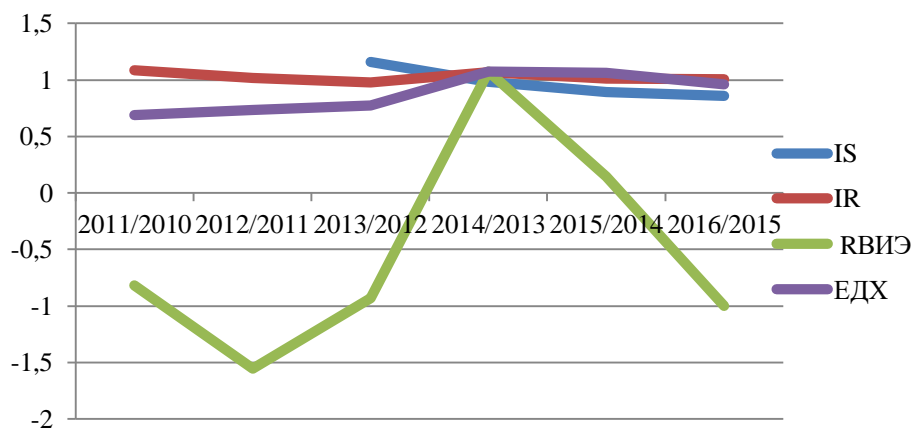


Рисунок 3.7 - Темпы роста индикаторов оценки динамики замены традиционных источников на возобновляемые источники энергии

Составлено автором

Они демонстрируют, что, начиная с 2013 года, в стране наблюдается постепенное снижение темпа роста индикатора результативности замещения (IS), сопровождающееся снижением темпов роста обоих индикаторов (RВИЭ и ЕДХ), относящихся к общему индикатору (IE) экономической эффективности

замещения традиционных источников на возобновляемые источники (рис. 3.7). При этом, снижение темпов роста индикатора рациональности замещения (IR) и индикатора экономической эффективности замещения для домашних хозяйств ($E_{дх}$) происходит в меньшей степени, чем темпы снижения индикатора результативности замещения (IS). На основании предложенных нами трех возможных состояний динамики и эффективности процессов замещения традиционной энергетики на ВИЭ, полученные результаты позволяют сделать вывод об экстенсивном пока характере процесса замещения в Германии за рассматриваемый период по 2016 год включительно. Соответственно, не были ещё достигнуты главные цели энергетической трансформации страны - снижение энергетической зависимости и повышение энергетической безопасности. Полученные результаты можно объяснить повышенными расходами сетевых операторов за частые вмешательства в работу энергосистемы с переменчивыми ВИЭ и затратами на ускоренную модернизацию старых распределительных сетей для интеграции возобновляемых источников. Оказал влияние также учет дополнительных расходов домохозяйств на электроэнергию, связанных с развитием «зеленой» энергетики. Результаты оценки ставят под сомнение готовность энергосистемы Германии по состоянию на 2016 год к достижению 65% доли потребления электроэнергии от ВИЭ к 2030 году. Разработанный подход может быть развит для оценок динамики и эффективности энергетической трансформации различных стран (регионов), в том числе и в РФ.

3.2. Обоснование и апробация эконометрического подхода к оценкам и прогнозам роста возобновляемых ресурсов в странах мира на базе кривых обучения

3.2.1. Эконометрический подход оценки динамики развития новых технологий ВИЭ на примере морской ветроэнергетики стран БСМ

Для достижения широкой электрификации в странах ЕС к 2030 году в соответствии с Дорожной картой REmapE ведущими среди ВИЭ станут ветровые

технологии.³³² В странах БСМ, в дополнение к обычной ветроэнергетике, большое внимание уделяется развитию морских ВЭУ по причине дефицита подходящих недорогих участков земли, более сильных и устойчивых ветров в море и ряда экологических ограничений.³³³ Большие перспективы имеют плавучие ВЭУ, размещаемые в районах с глубинами более 60 метров, где уже экономически и технически не привлекательно устанавливать фиксированные на дне оффшорные ВЭУ. Следует отметить, что на этих акваториях сосредоточено 80% огромного ресурсного потенциала ветра Северного моря, в целом оцениваемого в 4000 ГВт.³³⁴ Многие крупные игроки на рынке углеводородов уже стали активно развивать морские ВЭУ. Начался переход к новой парадигме энергетической безопасности стран ЕС, определяемой не столько обеспечением традиционными ресурсами, сколько наличием прорывов в собственных различных направлениях новой технологической энергетики, комплексно развивающихся вместе с ВИЭ. Бассейн Северного моря, где продолжается добыча углеводородов на морских месторождениях, рассматривается ведущими нефтегазовыми компаниями мира как полигон для реализации проектов интеграции морской традиционной и морской ветровой энергетики, ввиду их высокой потенциальной синергии и возможности заимствования технологий.³³⁵ С этой точки зрения представляется важными исследования динамики и трендов роста технологий ВИЭ и неконвенциональных углеводородов³³⁶, находящихся в настоящее время на ранних или начальных стадиях развития (для стран бассейна БСМ - это морские ВЭУ, сланцевые нефть и газ, морские СЭС, энергетика приливов и волнения и т.п.). Все эти виды ресурсов имеют большой потенциал, поэтому по мере развития, могут оказать

³³² Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018)

³³³ Wind energy scenarios for 2030 // EWEA.

URL:<http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EWEA-Windenergy-scenarios-2030.pdf> (дата обращения 14.05.2018)

³³⁴ Floating Offshore Wind Vision Statement . Wind Europe.

URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018)

³³⁵ Offshore Energy Outlook.

URL:https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017Special_Report_OffshoreEnergyOutlook.pdf (дата обращения 22.04.2018)

³³⁶ Шафраник Ю.К., Крюков В.А. Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию. - М.: Перо, 2016. - 272 с.; Горлов А.А. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в странах бассейна Северного моря// Энергетическая политика. - 2015. - №4. - С.68-78

существенное влияние на процессы замещения. Оценки динамики и трендов в данной области обычными методами выполнить затруднительно из-за недостатка данных, но можно воспользоваться новыми подходами на базе математического аппарата «кривых обучения».³³⁷

Теоретическое обоснование использования кривых обучения. В основе аппарата кривых обучения лежит концепция ««обучение на опыте» («learning by doing»), то есть, факты снижения себестоимости продукции по мере развития технологии, что в целом эмпирически подтверждается для многих отраслей промышленности.³³⁸ Первым упоминанием об использовании этой концепции можно считать описание убывающего характера затрат основных ресурсов по мере роста накопленных объемов производства в авиастроении.³³⁹ Нобелевский лауреат, экономист К. Эрроу расширил понимание последствий обучения на опыте за рамки отдельной фирмы³⁴⁰, на базе чего была разработана модель экономического роста «Эрроу – Ромера», демонстрирующая, что способность экономических агентов обучаться в процессе производства и диффузия знаний способствуют формированию эндогенного экономического роста.³⁴¹ В 2000 году агентством IEA были сформулированы принципы применения кривых обучения как аналитического инструмента для энергетических отраслей³⁴², который относится к графо - аналитической модели, демонстрирующей статистическую зависимость между себестоимостью (с учетом всех издержек) и накопленной

³³⁷ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ. 2016. - 96 с.; Krukov V.A., Moe A. Does Russian unconventional oil have a future? // EnergyPolicy. - 2018. - Vol. 119. - PP. 41-50.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518302374> (дата обращения 24.01.2019); Горлов А.А. Использование кривых обучения для оценки динамики развития возобновляемых источников энергии // Энергетическая политика. - 2018. - №3. - С.62-75

³³⁸ Experience Curves for Energy Technology Policy // OECD/ IEA. 2000. 147 p. URL: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf> (дата обращения 21.05.2017)

³³⁹ Wright T. P. Factors affecting the cost of airplanes // Journal of aeronautical sciences. - 1936. - Т. 3. - №. 4. - PP. 122-128 URL: <http://www.uvm.edu/pdodds/research/papers/others/1936/wright1936a.pdf> (дата обращения 11.04.2017)

³⁴⁰ Arrow, K. The Economic Implications of Learning-By-Doing, Review of Economic Studies- 1962. - Vol. 29. - PP. 155-173. URL:

http://faculty.msmc.edu/hossain/grad_bank_and_money_policy/the%20economic%20implications%20of%20learning%20by%20doing_arrow.pdf (дата обращения 11.03.2017)

³⁴¹ Romer P. M. Endogenous technological change // Journal of political Economy. - 1990. - Т. 98. - №. 5, Part 2. - PP. S71-S102.

URL: <http://pages.stern.nyu.edu/~promer/Endogenous.pdf> (дата обращения 16.05.2017)

³⁴² Experience Curves for Energy Technology Policy // OECD/ IEA. 2000. 147 с. URL: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf> (дата обращения 21.05.2017)

производственной мощностью. В англоязычных работах подобная модель известна под названием «experience curve» (термин введен в работе К.Эрроу)³⁴³, в то время как обратная зависимость затрат конкретного ресурса в расчете на единицу выпуска от совокупных производственных мощностей обозначается термином «learning curve» (термин введен в работе Т.Райта).³⁴⁴ Именно «experience curve» по традиции, сложившейся в отечественных публикациях³⁴⁵, в дальнейшем подразумевается нами под термином «кривая обучения». Однофакторная версия кривой обучения описывается степенным уравнением вида:

$$Y = \alpha X^\varepsilon, \alpha > 0, \varepsilon < 0 \quad (3.7)$$

где Y – себестоимость производимой продукции, X – показатель накопленного опыта (кумулятивная мощность). Параметр α является коэффициентом пропорциональности, эмпирически оцениваемый параметр ε отражает отрицательную зависимость кривой. Степенная форма зависимости позволяет произвести логарифмическое преобразование кривой:

$$\ln(Y) = \ln(\alpha) + \varepsilon \ln(X) \quad (3.8)$$

В качестве примера преимущества использования кривой обучения в двойной логарифмической шкале по сравнению с линейной шкалой приведем построенные нами графики (Рис.3.8) одной из эмпирически оцененных кривых обучения для технологии ВЭУ в Европе.³⁴⁶ При движении по осям данного графика кривой обучения в линейной шкале одинаковое расстояние на оси соответствует одинаковому по величине приросту мощности или издержек. А в двойной логарифмической шкале, где по осям откладываются не переменных, а их

³⁴³ Arrow, K. The Economic Implications of Learning-By-Doing, Review of Economic Studies- 1962.- Vol. 29.- PP. 155-173. URL:

http://faculty.msmc.edu/hossain/grad_bank_and_money_policy/the%20economic%20implications%20of%20learning%20by%20doing_arrow.pdf (дата обращения 11.03..2017)

³⁴⁴ Wright T. P. Factors affecting the cost of airplanes //Journal of aeronautical sciences . – 1936. – Т. 3. – №. 4. – PP. 122-128. URL:<http://www.uvm.edu/pdodds/research/papers/others/1936/wright1936a.pdf> (дата обращения 11.04..2017)

³⁴⁵ Ермоленко Г.В . и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетики НИУ ВШЭ.2016.- 96 с

³⁴⁶ Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model //Environmental and resource economics.. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190.

URL:https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model (дата обращения 12.08.2017)

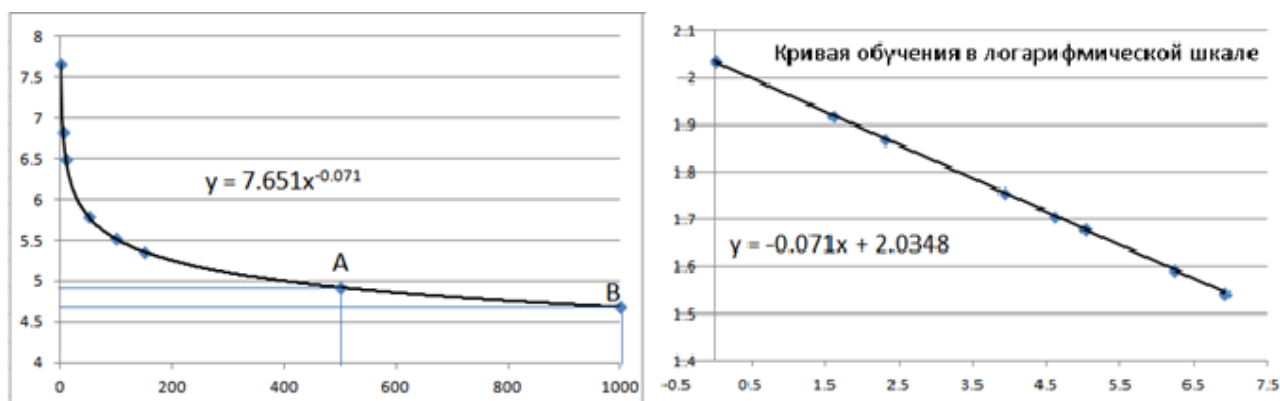


Рисунок 3.8 - Пример кривой обучения в линейной и двойной логарифмической шкале

На левом графике по оси абсцисс – совокупная мощность ветровых ВИЭ (МВт), по оси ординат - себестоимость энергии (\$/МВ-ч.). На правом – логарифмы соответствующих переменных.

Составлено автором. Источник: Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model //Environmental and resource economics. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190. URL:https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model (дата обращения 12.08.2017)

натуральные логарифмы, отображение кривой обучения становится линейным, что удобнее для оценивания параметров на основе метода наименьших квадратов при энергетических исследованиях.³⁴⁷ Важным показателем кривой обучения является коэффициент обучения (learning ratio, LR), который демонстрирует величину потенциального снижения себестоимости продукции при удвоении производственных мощностей. Так, переход из точки (А) в точку (В) на графике (Рис.3.8) означает рост доступных мощностей ветровых ВИЭ в два раза (с 0,5 до 1,0 МВт). При этом, отношение соответствующих этим точкам значений ординат показывает, что новые издержки составили только 95,2% от старых. Важно отметить, что кривая обучения не содержит показатель, отвечающий за течение времени. Поэтому на ее основе напрямую, без дополнений, не может быть построен прогноз момента достижения себестоимостью продукции определенного уровня.

В качестве показателя себестоимости для энергетических исследований, на основе которого принимают решения потенциальные инвесторы, обычно

³⁴⁷ Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model //Environmental and resource economics. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190. URL:https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model (дата обращения 12.08.2017)

используется нормированная стоимость электроэнергии LCOE (levelized costs of energy)³⁴⁸:

$$LCOE = \frac{CAPEX + PV(OPEX)}{PV(AEP)} \quad (3.9)$$

Где: CAPEX - капитальные издержки (первоначальные инвестиции в проект), OPEX – операционные издержки деятельности по генерированию энергии, AEP – объем генерации энергии за период, а через PV обозначен оператор учета определенной нормы дисконтирования.

В некоторых исследованиях ВИЭ рассматриваются другие показатели, например, цена одной генерирующей установки.³⁴⁹ Но, в большинстве случаев для расчетов используется себестоимость вместо цены³⁵⁰, так как на практике кривая обучения, оцениваемая на основе рыночной цены электроэнергии, может быть некорректной под влиянием изменения структуры рынка и нерыночных методов регулирования цен.³⁵¹ Стоимость показатели для оценки кривых обучения обычно приводятся к постоянным ценам, иначе модель может произвольно отразить две противоположные тенденции: сокращение себестоимости за счет обучения и рост за счет инфляции на рынках ресурсов. Применение кривых обучения для анализа в секторе ВИЭ является более оправданным, чем для многих других секторов экономики. Если за единицу генерации принять, например, киловатт-час, то независимо, как и где эта энергия выработана, что позволяет просто сравнивать между собой кривые обучения различных технологий выработки электроэнергии. То же самое касается мощности ВИЭ, измеряемой в однородных единицах измерения (кВт, МВт), что позволяет складывать мощность отдельных энергоустановок, как одного, так и различных

³⁴⁸ International Levelized Cost of Energy for Ocean Energy Technologies. OES.- 2015.- 48 p. URL: <https://testahemsidaz2.files.wordpress.com/2017/02/cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

³⁴⁹ Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор. М.: Институт энергетике НИУ ВШЭ.2016.- 96 с.

³⁵⁰ Jamasb T., Kohler J. Learning curves for energy technology: a critical assessment. URL:https://www.researchgate.net/publication/281127416_Learning_Curves_For_Energy_Technology_A_Critical_Assessment (дата обращения 24.05.2018)

³⁵¹ Cory K. S., Bernow S. and all. Analysis of Wind Turbine Cost Reductions: The Role of Research and Development and Cumulative Production.//paper presented at AWEA's WINDPOWER '99 Conference,. VT. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/1827/0a05a64a3544d655ba7032ce9a9c6f3750e0.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

видов технологий. Кроме того, различные технологии ВИЭ находятся на разных стадиях развития, но с точки зрения кривых обучения, возможно использовать методы сравнительного анализа для оценки технологий, которые ещё не имеют достаточного количества данных для построения собственной кривой обучения. Наконец, кривые обучения позволяют сравнивать технологии ВИЭ различного масштаба, когда производитель может быть как крупной ГЭС, так и отдельной ветровой установкой. Некоторым недостатком кривых обучения является то, что они не имеют четкого теоретического обоснования, в качестве которого рядом экономистов (например, Т.Джамбс, Дж. Колер) приводится классическая парадигма Шумпетера «изобретение – инновация – распространение» (invention – innovation – diffusion).³⁵² Отмечается также, что однофакторная версия кривой обучения завышает коэффициент обучения, и более точную оценку можно получить, используя двухфакторную версию кривой ³⁵³, с издержками на исследования и разработки R&D (Research and development) в качестве второго фактора. Особую роль расходы на R&D (НИОКР) играют для технологий, находящихся на ранних стадиях развития.³⁵⁴ Двухфакторная кривая обучения также имеет степенную спецификацию:

$$Y = \alpha X^\varepsilon (RD)^\beta \quad (3.10)$$

и логарифмическое представление, позволяющее оценивать параметры методом наименьших квадратов:

$$\ln(Y) = \ln(\alpha) + \varepsilon \ln(X) + \beta \ln(RD) \quad (3.11)$$

где RD – накопленные расходы на исследования на НИОКР

Построенный нами для иллюстрации по данным уже упомянутой выше работы

³⁵² Jamasb T., Kohler J. Learning curves for energy technology: a critical assessment. URL: https://www.researchgate.net/publication/281127416_Learning_Curves_For_Energy_Technology_A_Critical_Assessment (дата обращения 24.05.2018)

³⁵³ Jamasb T., Kohler J. Learning curves for energy technology: a critical assessment. URL: https://www.researchgate.net/publication/281127416_Learning_Curves_For_Energy_Technology_A_Critical_Assessment (дата обращения 24.05.2018)

³⁵⁴ Kouvaritakis N., Soria A., Isoard S. Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptive expectations models with learning by doing and learning by searching //International Journal of Global Energy Issues.-2000.-Т. 14.- №. 1-4.- PP. 104-115.h URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJGEI.2000.004384> (дата обращения 23.05.2017)

о ветровых технологиях ВИЭ в Европе ³⁵⁵ график уравнения двухфакторной кривой обучения в трехмерном пространстве приведен в приложении (Рис.Д1). В линейной шкале графическое отображение двухфакторной кривой обучения представляется поверхностью, каждая проекция которой на плоскость «Себестоимость/Мощность», в свою очередь, является однофакторной кривой обучения. Представленный график показывает, что при сопоставимых совокупных мощностях повышение расходов на НИОКР позволяют обеспечить снижение величины себестоимости электроэнергии. Для проведения исследований целесообразно представить задачу оценки неизвестных параметров модели в виде системы одновременных уравнений ³⁵⁶, добавив в задачу оценки кривой обучения дополнительное уравнение, отвечающее за диффузию технологий:

$$\begin{cases} \ln(Y_t) = \ln(\alpha) + \varepsilon \ln(X_t) + \beta \ln(RD_t) \\ \ln(X_t) = b_1 + b_2 \ln(Y_t) + b_3 \ln(t) \end{cases} \quad (3.12)$$

где параметры: β – эластичность LCOE по расходам на НИОКР, b_1 -коэффициент пропорциональности, b_2 – эластичность выработки энергии по LCOE, b_3 - эластичность выработки энергии по расходам на НИОКР (RD).

Второе уравнение, в котором переменная (t) отвечает за момент времени, показывает, что снижение себестоимости способно увеличивать стимул к вложению в технологию и, таким образом, оказывать влияние на совокупную мощность установок ВИЭ, то есть в рамках кривой обучения присутствует как прямое, так и обратное влияние. Полученные в результате оценки коэффициентов, в том числе коэффициента обучения, будут обладать необходимыми статистическими свойствами и в целом окажутся более надежными, чем результаты оценки однофакторной модели. После приведения двухфакторной системы одновременных уравнений (3.12) к необходимому виду

³⁵⁵ Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model //Environmental and resource economics. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190.

URL:https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model (дата обращения 12.08.2017)

³⁵⁶ Jamasb T. Technical change theory and learning curves: patterns of progress in electricity generation technologies //The Energy Journal. - 2007. - PP. 51-71. URL:

<https://pdfs.semanticscholar.org/6229/c8392148c9c8562d0cc34ba7650796d9ce2e.pdf> (дата обращения 19.05.2017)

(Прил., табл. Д1), она может быть использована для оценок кривой обучения методом наименьших квадратов.

Большой интерес представляет возможность оценки кривых обучения и динамики процессов замещения для технологий ВИЭ, находящихся на самых ранних этапах развития и, возможно, в условиях отсутствия коммерческих образцов. Идея оценки кривых обучения для таких технологий (Е. Рубин и др.)³⁵⁷ на основе информации, полученной в ходе анализа кривых обучения других технологий, по которым достаточно эмпирических данных, базируется на гипотезе существования стабильного, неизменного во времени коэффициента обучения. В статье (Дж. Колер и др.)³⁵⁸ приведены оценки коэффициентов обучения для 27 различных технологий генерации электроэнергии в интервале от 1,4% для крупных гидроэлектростанций до 35% для солнечных панелей. На основе данных этой работы, нами были выполнены расчеты, показавшие, что средний коэффициент обучения рассмотренных технологий генерации равен 13% и с вероятностью 95% не превышает 27%, что можно считать разумными границами для новых, находящихся на ранних этапах развития технологий.

В оптимальном варианте предлагаемого нами подхода для новых и развивающихся технологий ВИЭ оцениваются три неизвестных параметра в системе двух уравнений на основе трех временных рядов: накопленной мощности генерации, себестоимости единицы генерируемой энергии (LCOE) и совокупных вложения в исследования и разработки (НИОКР). В результате формируется модифицированная кривая обучения, позволяющая перейти от интерполяции кривой обучения к анализу динамики и тренда генерирующих мощностей, характеризующих процессы замещения традиционных источников энергии альтернативными видами.

³⁵⁷ Rubin E.S. and all. Learning curves for environmental technology and their importance for climate policy analysis // Energy. – 2004. – Т. 29. – №. 9. – PP. 1551-1559. URL: /https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt2b35s2b3/qt2b35s2b3.pdf?t=14umppm (дата обращения 21.03.2017)

³⁵⁸ Köhler, J. and all. The Transition to Endogenous Technical Change in Climate-Economy Models: A Technical Overview to the Innovation Modeling Comparison Project.// The Energy Journal.- 2006.- p. 17-55. URL:https://pdfs.semanticscholar.org/c463/155f32bc7e92f132f698e02ead3b28e5797b.pdf (дата обращения 11.05.2017)

Методическое обоснование эконометрического подхода оценки динамики развития технологий ВИЭ. Общей проблемой для всех видов ВИЭ является тот факт, что их внедрение происходит на фоне развитого рынка традиционной углеводородной энергетики. Это вызывает конкуренцию за средства потенциальных инвесторов в условиях большой степени неопределенности относительно будущей рентабельности и сроков окупаемости проектов альтернативной энергетики. Для развитых технологиям ВИЭ, таких, как береговые ВЭУ и СЭС, в различных работах приводятся ряды LCOE за много лет и построены кривые обучения. Например, начиная с 2009 года, инвестиционный банк LAZARD для таких технологий рассчитывает ежегодно показатель LCOE по собственной методике интервальных оценок (Прил., рис. Д2) ³⁵⁹, что позволяет корректно оценивать перспективы замещения традиционной энергетики. Иначе обстоит дело с новыми прорывными и развивающимися технологиями ВИЭ, которые имеют высокие темпы развития и перспективу быстрого снижения LCOE. Такая ситуация может стать неожиданной для игроков или инвесторов на рынке традиционной энергетики и привести к большим убыткам для них. Именно поэтому, важны оценки динамики и трендов ранних и развивающихся технологий ВИЭ. Для экономических исследований в энергетическом секторе отечественными и зарубежными специалистами разработан целый ряд достаточно сложных моделей, в которых учитываются множество статистических параметров с привлечением большого количества экспертов. Новые технологии ВИЭ такого объема данных ещё не имеют, поэтому для них более простыми и эффективными могут стать эконометрические подходы, базирующиеся на исследовании кривых обучения и расчетах LCOE реальных энергетических проектов. Такие инструменты способны обеспечить достаточно высокую точность оценок, повышающуюся по мере общего уровня развития технологии ВИЭ. За счет наращивания её кумулятивной мощности и объема информации об

³⁵⁹ Lazard , Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

эксплуатации конкретных проектов в соответствие с однофакторной версией уравнения кривой обучения (3.7) происходит снижение стоимости электроэнергии LCOE (уравнение 3.9).

Развивающиеся технологии ВИЭ, такие, например, как оффшорная ветровая энергетика, уже имеют достаточный объем доступной информации для оценки текущего значения LCOE на основе ряда дополнительных предпосылок, однако, часто временные ряды этого показателя по годам практически еще не рассчитаны и отсутствуют актуальные кривые обучения. Принцип работы с подобными технологиями заключается в выборе подхода оценки издержек LCOE, построении временного ряда издержек и переходе к кривым обучения.³⁶⁰ Выполненный нами анализ позволил выявить три основных методических подхода оценивания показателя LCOE:

- Интервальное оценивание. Обычно, даже для развитой технологии генерации энергии, затруднительно строить эффективную точечную оценку, потому LCOE оценивается как интервал, вероятность попадания в который реально наблюдаемых удельных издержек высока;³⁶¹
- Экспертные оценки. Технологические параметры проектов ВИЭ, их финансовые показатели и первоначальные инвестиции оцениваются на основе интервью со специалистами, являющимися признанными экспертами в соответствующей области;³⁶²
- Исследование динамики издержек LCOE в процессе жизненного цикла ВИЭ на основе информации о текущих параметрах (CAPEX, OPEX, ставка дисконтирования и т.д.) и их прогнозирование на будущее.³⁶³

В публикации Ассоциации OES (Ocean Energy Systems) приведена одна из пока немногих моделей оценки снижения значений LCOE («Times model») для

³⁶⁰ Experience Curves for Energy Technology Policy // OECD/ IEA. 2000. 147 p. URL: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf> (дата обращения 21.05..2017)

³⁶¹ Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL: <https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

³⁶² Forecasting Wind Energy Costs&Cost Drivers/2016/ <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1005717.pdf>

³⁶³ Experience Curves for Energy Technology Policy // OECD/ IEA. 2000. 147 p. URL: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf> (дата обращения 21.05..2017)

новых возобновляемых технологий энергии приливных течений и волнения ³⁶⁴, базирующаяся на последней из рассмотренных методик. С целью разработки эконометрического подхода оценок динамики ранних технологий ВИЭ нами был выполнен анализ и модификация методики «Times model». Для отсеивания проектов, способных оказать сильное искажающее влияние на общий результат оценки LCOE, в работе ³⁶⁵ предлагается использовать классификацию НАСА стадий развития технологий, применяющаяся для разработки инновационных проектов в авиации и космосе. Эта классификация с 2013 года была принята Комиссией ЕС для исследований в области энергетики ³⁶⁶ и согласно ей все технологии делятся на 9 уровней TRL (Technology Readiness Level). Наиболее ранним считается концептуальный уровень развития (TRL1), лабораторные и макетные испытания относятся к среднему уровню (TRL4, TRL5), а к уровню TRL9 – внедренные коммерческие установки. При расчете LCOE в модели «Time model» учитываются только технологии, превышающие уровень TRL5, что подтверждается мнением экспертов.³⁶⁷ Соответственно, результирующее значение LCOE также будет различным для разного уровня проектов, что учитывается в процессе расчета LCOE и в последующей оценке кривых обучения. В качестве источника информации для оценки LCOE по методике «Times model» используются как предпосылки, так и экспертные мнения. К основным предпосылкам относится то, что срок жизни всех проектов приравнивается к 20-ти годам, что для всех проектов принимается ставка дисконтирования 10% , а также то , что вместо реального показателя АЕР (Annual energy production) в уравнении (3.9) используется оценка среднегодового значения АЕР, которая

³⁶⁴ International Levelized Cost of Energy for Ocean Energy Technologies. OES.- 2015.- 48 p. URL: <https://testahemsidaz2.files.wordpress.com/2017/02/cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

³⁶⁵ International Levelized Cost of Energy for Ocean Energy Technologies. OES.- 2015.- 48 p. URL: <https://testahemsidaz2.files.wordpress.com/2017/02/cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

³⁶⁶ Horizon 2020 – Work Programme 2014-2015. 18 General Annexes// European Commission Decision C 86312013. URL: http://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/h2020/common/1597678-part_18_general_annexes_incl_corr_en.pdf (дата обращения 11.08.2017)

³⁶⁷ International Levelized Cost of Energy for Ocean Energy Technologies. OES.- 2015.- 48 p. URL: <https://testahemsidaz2.files.wordpress.com/2017/02/cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

подставляется в формулу как константа. Все параметры, оценка которых необходима для расчета LCOE (первоначальные инвестиции CAPEX, операционные издержки OPEX и годовая выработка энергии AEP), формируются в виде интервалов в процессе общения с экспертами. Показатель годовой выработки электроэнергии (AEP) рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$AEP = PC * CF * Av * 8760 \quad (3.13)$$

Где: PC (Project Capacity) - определяемая экспертами сумма проектных мощностей на конкретной стадии развития ВИЭ; CF (Capacity Factor или КИУМ) - устанавливаемое экспертами отношение среднегодовой реальной производительности к теоретической; Av (Availability) - также определяемая экспертами доля времени в рамках одного года, в течение которого ВИЭ работает нормально и генерирует электроэнергию.

Подстановка верхних и нижних пределов интервальных оценок в формулу (3.13) позволяет найти интервальную оценку годового производства энергии и, соответственно, вычислить знаменатель оценки LCOE по формуле (3.9). По методике «Times model», в состав CAPEX включаются издержки на покупку, доставку и установку оборудования, строительство инфраструктуры (платформ, опор, дополнительных линий электропередачи), затраты на первоначальные исследования и на оценку экологического эффекта. На практике верхний и нижний предел капитальных издержек в расчете на значение установленной мощности определяются по массиву данных проектов конкретного типа, подготовленному на основе экспертных оценок.³⁶⁸ В соответствии с методикой «Times model», в состав OPEX входят текущие административные издержки, затраты на расходные материалы, амортизация и ремонт оборудования, страхование бизнеса, а также, при необходимости, затраты на аренду природных территорий. Верхний и нижний пределы OPEX оцениваются экспертами отдельно для проектов, находящихся на демонстрационной, предкоммерческой

³⁶⁸ Jamasb T. Technical change theory and learning curves: patterns of progress in electricity generation technologies //The Energy Journal. - 2007. - PP. 51-71. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/6229/c8392148c9c8562d0cc34ba7650796d9ce2e.pdf> (дата обращения 19.05.2017)

или коммерческой стадии. Таким образом, по методики «Times model» на первом этапе эксперты строят не точечную, а интервальную оценку таких параметров, как CAPEX, OPEX, CP и Av, при этом средним значением параметра считается среднее арифметическое из двух границ. На втором этапе используется дополнительный, не связанный с мнением экспертов, механизм: новые границы допустимого интервала оцениваемого параметра рассчитываются как среднее значение параметра ($\pm\alpha\%$), который зависит от того, насколько глубоко были проведены исследования издержек и на какой стадии развития находится данная конкретная технология. Для этой цели используется специальная таблица соответствия между стадиями проекта ВИЭ и точностью оценивания издержек.³⁶⁹ Применение в методике «Times model» одновременно границ, определенных экспертами, и границ в соответствии с таблицей определяет максимальную вероятность попадания реальных издержек в рассматриваемый интервал. Таким образом, в ходе расчетов формируется набор оценок LCOE для конкретных проектов рассматриваемой технологии ВИЭ. Полученные подобным способом оценки LCOE определяются по состоянию на год запуска проектов. Соответственно, если в расчетах использовались данные о проектах, введенные в эксплуатацию в разные годы, рассмотренная методика позволяет построить временной ряд LCOE, который может быть использован для дальнейшего построения однофакторных кривых обучения (3.7), а также двухфакторных кривых обучения, если известны издержки на НИОКР (R&D) в качестве второго фактора.³⁷⁰ Обычно, для оценки кривых обучения развитой энергетической технологии «напрямую», по рядам статистических данных, демонстрирующих динамику LCOE и роста кумулятивной мощности, необходимо иметь результаты хотя бы одного полноценного статистического исследования. В то же время, для

³⁶⁹ Previsic M., Bedard R. Yakutat Conceptual Design, Performance, Cost and Economic, Wave Power Feasibility Study // Electric Power Research Institute .- 2009. -. 43 p. URL: <http://re-vision.net/documents/Yakutat%20Conceptual%20Design,%20Performance,%20Cost%20and%20Economic%20Wave%20Power%20Feasibility%20Study.pdf> (дата обращения 18.03.2017)

³⁷⁰ Kouvaritakis N., Soria A., Isoard S. Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptive expectations models with learning by doing and learning by searching //International Journal of Global Energy Issues.-2000.-Т. 14.- №. 1-4.- PP. 104-115.h URL:<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJGEI.2000.004384> (дата обращения 23.05.2017)

оценки LCOE по данным об отдельных энергетических проектах, согласно рассмотренной методике «Times model», достаточно информации о самих проектах, при условии, что проекты запущены и оценены в различные моменты времени. Это позволяет использовать предлагаемый подход даже в том случае, если сама технология ВИЭ ещё только выходит на коммерческую стадию развития.

Апробация подхода на примере морских ВЭУ Германии. Для апробации разработанного нами подхода оценок LCOE развивающихся технологий ВИЭ, основанного на модифицированной методике «Times model», рассматриваются технологии морских оффшорных ВЭУ, размещенных на стационарных платформах.³⁷¹ Из стран БСМ наибольшее количество оффшорных ВЭУ на 2016 год было установлено в Великобритании (40,8% от мощности всех морских ветровых установок ЕС), затем в Германии - 32,5%, в Дании - 10,1%, в Нидерландах – 8,8% и в Бельгии – 5,6%.. Информационным недостатком для экономических оценок явилось практически полное отсутствие в свободном доступе достоверных данных о проектах этой технологии. Оценки LCOE для оффшорных ВЭУ к концу 2016 года, имели нерегулярный характер и относились к различным странам. Например, по данным компании Siemens реальная величина LCOE морских ВЭУ в Великобритании в 2013 году составила 140 евро/МВт-ч, а к 2025 году должна снизиться до 95 евро/МВт-ч.³⁷² По прогнозу компании Ernst & Young et Associés, к 2017 году величина LCOE оффшорных ветровых технологий должна была составить 115 евро/МВт-ч, а к 2030 году снизиться до 90 евро/МВт-ч.³⁷³ Согласно данным компании Bloomberg NEF, в ЕС показатель LCOE морских ВЭУ в 2015 году составил \$175/МВт-ч, а в 2016 году снизился уже до уровня \$126/МВт-ч.³⁷⁴ Таким образом, существующие на 2016 год оценки

³⁷¹ Горлов А.А. Обоснование методического подхода к оценке динамики развития технологий оффшорной ветровой энергетики (на примере Германии) // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). -2018.- Т. 9- № 1.- С.50-63. URL: DOI: 10.18184/2079-4665.2018.9.1. (дата обращения 16.05.2018)

³⁷² What is a real costs of offshore wind? // siemens.com/ wind. URL: <https://www.energy.siemens.com/ br/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/ SCOE/Infoblatt-what-is-the-real-cost-of-offshore.pdf> (дата обращения 14.06.2017)

³⁷³ Offshore wind in Europe . Walking the tightrope to success // Ernst & Young et Associés. URL: <https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf> (дата обращения 12.04.2017)

³⁷⁴ Watanabe J. Giant fall in generation costs from offshore wind // Bloomberg new energy finance.

величины LCOE для оффшорных ВЭУ отличались количественным и временным разбросом, и не составляли непрерывный временной ряд, необходимый для статистической оценки кривой обучения. В то же время, в 2016 год в Северном море действовало 18 немецких ветровых ферм, общей мощностью 4,0 ГВт³⁷⁵, что достаточно для формирования выборки, сбора данных и дальнейшего оценивания кривых обучения на базе разработанного нами подхода. В 2016 году, по объему инвестиций в развитие всех используемых в Германии технологий ВИЭ, только береговые ВЭУ опережали оффшорные ветровые фермы, составляющие, соответственно, 6,6 млрд. евро против 2,6 млрд. евро.³⁷⁶ Наиболее полные данные в Германии имелись по совокупной мощности и величине производимой энергии морских ветровых установок (Рис. 3.9).

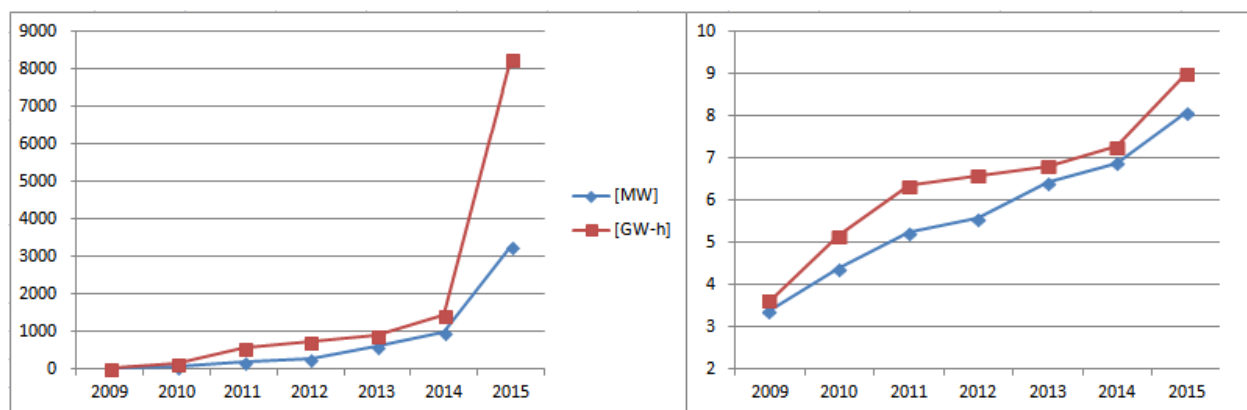


Рисунок 3.9 - Показатели использования оффшорных ВЭУ в Германии

На графике слева: синяя линия (ромбы) – это суммарная мощность ВЭУ (МВт), красная линия (квадраты) – совокупное производство электроэнергии (ГВт-ч). На графике справа – эти же показатели в полулогарифмической шкале.

Составлено автором по данным статистики. Источник: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. URL: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (дата обращения 14.05.2018)

С 2009 года в Германии наблюдался непрерывное развитие морских ВЭУ, а к 2015 году резкое увеличение роста обоих показателей с сопоставимой скоростью, при этом коэффициент корреляции между ними достигает 0,98. Соответственно,

URL: http://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2016/11/BNEF_PR_2016-11-01-LCOE.pdf (дата обращения 10.07.2017)

³⁷⁵ Energiewende beschleunigen – Ausbau der Offshore Windenergie läuft bis 2020 nach Plan // Bundesverband Wind Energie. URL: <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2018/energiewendebeschleunigen-ausbau-der-offshore-windenergie-laeuft-bis> (дата обращения 15.02.2019)

³⁷⁶ Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2016 // AGEE / Umwelt Bundesamt. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/erneuerbare_energien_in_deutschland_daten_zur_entwicklung_im_jahr_2016.pdf (дата обращения 17.08.2017)

сокращение LCOE достигается за счет накопления опыта, что и является предпосылкой анализа на основе кривых обучения. Можно предположить, что все проекты оффшорных ВЭУ, внедренные в рамках одного года, формируют верхние и нижние границы реальной себестоимости генерируемой энергии, что позволяет оценивать LCOE и кривые обучения в соответствии с минимальным и максимальным сценариями. Для дальнейших исследований были использованы имеющиеся данные об установленной мощности и первоначальных инвестициях в проекты реально существующих в Германии оффшорных ветровых платформ (Прил., табл. Д2).

Первоначальные инвестиции позволяют рассчитать капитальные издержки (CAPEX) для каждого проекта в расчете либо на данные установленной мощности (МВт), либо на единицу выработки электроэнергии (МВт-ч). В числителе используемой в данном исследовании формулы (3.9) оценки LCOE, компоненты издержек CAPEX и OPEX присутствуют в абсолютном денежном выражении, что позволяет оценить издержки LCOE в денежных единицах в расчете на единицу выработки электроэнергии (МВт-ч). Анализ существующих исследований оффшорных ВЭУ позволил определить также, что выражение $CF * Av$ (в формуле 3.13) для данной технологии измерено и находится в пределах от 40% до 50%, ожидаемый срок жизни большинства проектов составляет 25-ти лет, а для расчетов LCOE использована ставка дисконтирования 10%. Таким образом, для применения модифицированной методики «Times model» требуются еще только данные об операционных издержках (OPEX). Идея дальнейшей оценки основана на гипотезе о единстве природы снижения капитальных и операционных издержек использования технологий оффшорных ВЭУ. Наличие достаточного количества данных о первоначальных инвестициях и CAPEX в динамике позволяют определить функциональную модель их снижения со временем и оценить параметры модели. При этом операционные издержки, вероятно, снижаются в соответствии с моделью с другими параметрами, однако того же класса функций. В таком случае, при наличии информации о классе функций, нескольких известных величин OPEX будет достаточно для оценки недостающих

наблюдений, а повысить надежность результатов можно на основе расчета вероятностных границ полученных оценок в соответствии с принципами, изложенными выше.³⁷⁷ На рисунке.3.10 изображена кривая оценки динамики первоначальных инвестиций в расчете на единицу установленной проектной мощности, полученная по некоторым существующим в Германии проектам оффшорных ВЭУ (Прил., табл. Д2).

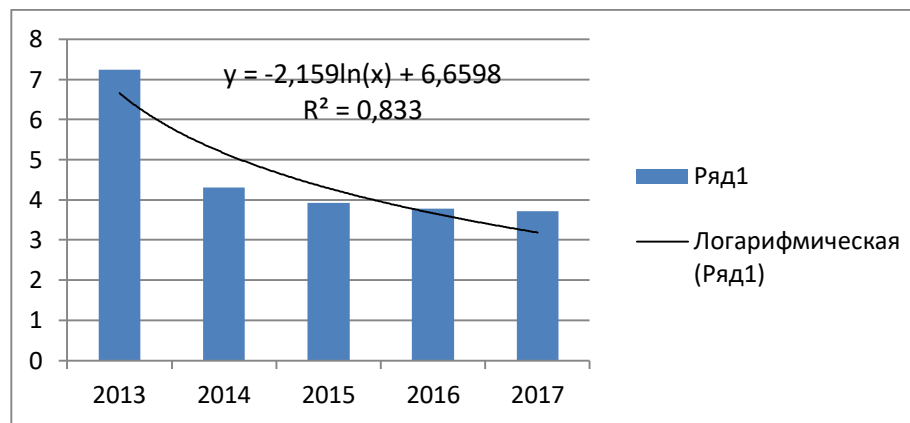


Рисунок 3.10 - Динамика средних первоначальных инвестиций.

По оси ординат – средние капитальные затраты на 1,0 МВт мощности установок оффшорных ВЭУ, в миллионах евро

Составлено автором. Источник: Global Offshore Wind Farm Map // 4C Offshore. URL: <https://www.4coffshore.com/subscribers/dashboard/#> (дата обращения 11.01.2018)

Регрессионный анализ показывает, что убывание средних первоначальных инвестиций описывается логарифмической кривой с достаточно высокой точностью, 83% динамики первоначальных вложений объясняется предлагаемой логарифмической моделью. Логично будет предположить, что динамика операционных издержек ОРЕХ также подчиняется некоторой подобной логарифмической модели. Вероятнее всего, что издержки со временем сокращаются под влиянием наращивания установленных мощностей в соответствии с кривой обучения, которая еще не оценена, но существует, и сокращается в соответствии с логарифмической моделью вида $ОРЕХ_t = A + B * \ln(t)$, где через (t) обозначен момент времени, а через (А) и (В) – неизвестные на данном этапе параметры модели динамики операционных издержек. В работе

³⁷⁷ Previsic M., Bedard R. Yakutat Conceptual Design, Performance, Cost and Economic, Wave Power Feasibility Study // Electric Power Research Institute .- 2009. -. 43 p. URL: <http://re-vision.net/documents/Yakutat%20Conceptual%20Design,%20Performance,%20Cost%20and%20Economic%20Wave%20Power%20Feasibility%20Study.pdf> (дата обращения 18.03.2017)

Национальной лаборатории ВИЭ³⁷⁸ приведена одна из оценок относительных операционных издержек на 2014 год оффшорной ветровой фермы величиной в \$138/кВт-ч. Также известны некоторые оценки величин LCOE, позволяющие оценить недостающие значения OPEX в 2011, 2012 и 2017 годах. Поскольку ставка дисконтирования и срок жизни проекта известны и неизменны в рамках относительно короткого периода времени и для конкретной технологии использования возобновляемой энергии (оффшорного ветра), формулу (3.9) можно упростить, и выразить величину OPEX:

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^{25} \frac{OPEX}{1.1^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{AEP}{1.1^t}} \Rightarrow OPEX = AEP * LCOE - \frac{CAPEX}{9.985} \quad (3.14)$$

Согласно имеющимся данным (Прил., табл. E2), средневзвешенное значение суммарных капитальных издержек на оффшорную ветровую платформу, из запущенных в эксплуатацию в Германии в 2017 году, составили около 1440 млн. евро или \$1640 млн., то есть \$4620/кВт. По имеющимся прогнозным оценкам, LCOE для оффшорных ВЭУ в 2017 году достигнет \$131,7/МВт-ч.³⁷⁹ При средней установленной мощности 355 МВт проектов ветровых ферм, введенных в эксплуатацию в 2017 году, по формуле (3.13) определяем, что производство электроэнергии AEP одной фермой в этом году составило около 1355 ГВт-ч. Соответственно, в 2017 году средние операционные издержки оффшорных ВЭУ Германии по формуле (3.14) оцениваются нами в \$40 / кВт-ч/ год. Для дальнейшего рассмотрения используются оценки OPEX, равные \$138/кВт-ч в 2014 году и \$40/кВт-ч в 2017. Так получаем модель, которую можно математически описать с помощью следующей системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} OPEX_t = A + B \ln(t), t = 2011..2017 \\ 40 = A + B * \ln(2017) \\ 138 = A + B * \ln(2014) \end{cases} \quad (3.15)$$

³⁷⁸ Moné Cr., Stehly T. and all. Cost of wind energy review// National Renewable Energy Laboratory. URL:<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64281.pdf> (дата обращения 12.12.2017)

³⁷⁹ Offshore wind in Europe . Walking the tightrope to success // Ernst & Young etAssociés. URL: <https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf> (дата обращения 12.04.2017)

В результате решения системы уравнений (3.15) появляется возможность определить значения OPEX в каждом из рассматриваемых периодов с 2011 по 2017 годы, поскольку выработка электроэнергии в рамках каждого проекта может быть оценена непосредственно по установленной мощности и величине показателя $CF * Av$, интервал разброса которого известен. Итоговые результаты оценки динамики операционных издержек и нормированной стоимости электроэнергии LCOE для развивающейся технологии оффшорных ВЭУ приведены в таблице 3.4. Для расчета минимальных и максимальных операционных издержек применялись границы $\pm 15\%$ для проектов 2011–2016 годов и $\pm 20\%$ для оценки проектов 2017 года. Значения LCOE были рассчитано по классической формуле (3.9) с применением максимальных и минимальных издержек соответственно.

Таблица 3.4
Оценка динамики LCOE технологий оффшорных ВЭУ

Год	OPEX \$/кВт/год	OPEX min \$/кВт/год	OPEX max \$/кВт/год	LCOE \$/МВт-ч	LCOE min \$/МВт-ч	LCOE max \$/МВт-ч
2011	236.15	200.72	271.57	377.76	327.27	428.24
2012	203.41	172.90	233.93	-	-	-
2013	170.70	145.09	196.30	407.94	357.09	458.78
2014	138.00	117.30	158.70	275.78	240.42	311.14
2015	105.32	89.52	121.11	213.53	186.22	240.83
2016	72.65	61.75	83.55	175.60	153.75	197.45
2017	40.00	32.00	48.00	128.57	111.15	145.99

Источник: расчеты автора

Отсутствие расчетных данных LCOE по 2012 году (Табл.3.4) объясняется тем, что в Германии не был запущен ни один проект в области морских ВЭУ. Полученные логарифмические кривые динамики LCOE (Прил.,табл.Д3), описывают процесс её снижения с большой точностью (коэффициент детерминации 0,99), что позволило вычислить недостающие значения LCOE на 2012 году, равные в среднем \$572.6/МВт-ч и добавить их в ряд значений LCOE таблицы 3.4. Расчитанные значения LCOE для оффшорных ВЭУ Германии (Табл.3.4) имеют близкие значения с приведенными выше оценками известных экспертов. Так, величина LCOE на 2017 год компании Ernst & Young et Associés

составила \$131,7/МВт-ч³⁸⁰, что попадает в оцененный интервал (наша оценка – \$128/ МВт-ч). Также совпадают оценки на 2015 год компании Bloomberg NEF (\$175 /МВт-ч).³⁸¹ Заниженная оценка LCOE на 2011 год объясняется тем, что единственный введенный в эксплуатацию в том году проект морской ВЭУ отличается малой мощностью, что нарушает однородность выборки. Поэтому, для дальнейшего анализа использовался ряд значений LCOE, начиная с 2012 по 2017 годы включительно, что достаточно для оценивания однофакторной кривой обучения. Результат оценки кривых обучения методом наименьших квадратов в виде логарифмических уравнений для среднего значения LCOE выглядит следующим образом:

$$\ln(LCOE_{avg}) = 7.988 - 0.295 \ln(Prod), \quad R^2 = 0.692,$$

$$Prob(F) = Prob(t) = 0.081$$

Аналогичные уравнения были получены для минимального и максимального значения LCOE (Прил., табл. Д4). Через величину Prod обозначен годовой объем производства электроэнергии (МВт-ч). Важными параметрами каждого уравнения являются коэффициент наклона, характеризующийся числом при логарифме объема производства, который показывает скорость сокращения издержек по мере роста производства, а также коэффициент детерминации R², показывающий долю дисперсии удельных издержек LCOE, которая объясняется снижением производства. Показатели Prob(F) и Prob(t) характеризуют минимальный уровень значимости уравнений. Все полученные уравнения (Прил., табл. Е4) характеризуются высоким уровнем статистической значимости в целом и коэффициентов наклона. Подтверждается гипотеза об убывающем характере кривой обучения – отрицательные коэффициенты наклона у логарифмов объема производства в правых частях всех уравнений говорят о сокращении LCOE по мере роста накопленных производственных мощностей. На рисунке 3.11

³⁸⁰ Offshore wind in Europe . Walking the tightrope to success // Ernst & Young etAssociés. URL: <https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf> (дата обращения 12.04.2017)

³⁸¹ Watanabe J. Giant fall in generation costs from offshore wind // Bloomberg new energy finance. URL: http://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2016/11/ BNEF_PR_2016-11-01-LCOE.pdf (дата обращения 10.07.2017)

приведены кривые обучения для оффшорного ветра в Германии, построенной по данным за 2012–2017 годы.

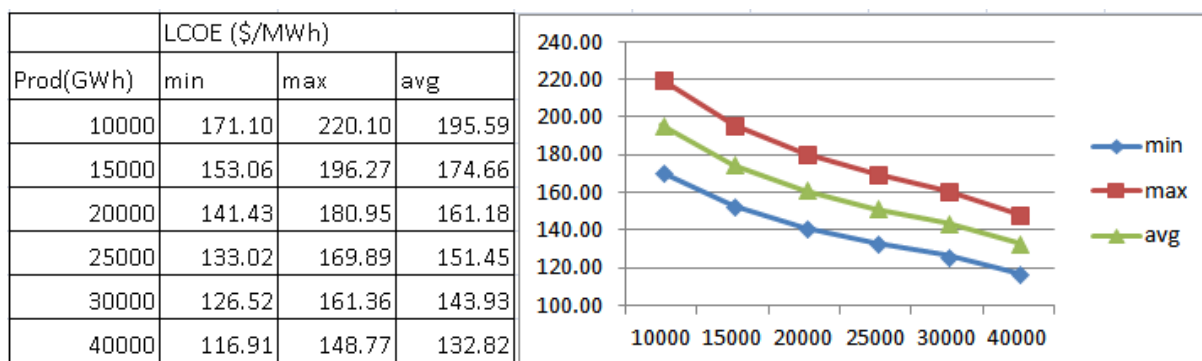


Рисунок 3.11 – Кривая обучения для технологий оффшорных ВЭУ в Германии
По абсциссе – производство энергии оффшорными ВЭУ в ГВт-ч, по ординате – LCOE (\$/МВт-ч)

Источник: Расчеты автора.

Расчет коэффициентов обучения LR для различных сценариев динамики полученных значений LCOE показывает, что они находятся в интервале от 17,3% до 17,8%, что соответствует определенным нами ранее границам среднего коэффициента обучения для новых, развивающихся технологий ВИЭ. Имея данные по текущей динамике LCOE, можно рассчитать её тренд в среднесрочной перспективе, что необходимо для развития предлагаемого эконометрического подхода в направлении прогнозных оценок роста ресурсов новых ВИЭ. С этой целью, на основании полученных результатов для Германии, был выполнен прогноз тренда нормированной стоимости LCOE оффшорных ВЭУ для стран БСМ до 2030 года. Расчетные данные и уравнения экстраполяции и прогнозные кривые приведены в приложении (табл. Д3- Д6 , рис. Д3).

Выполненная в предложенном нами подходе модификация модели «Times model» заключалась в упрощении общего алгоритма оценок, в первую очередь в части определения величин OPEX, по которым для развивающихся технологий обычно очень мало реальных данных. Разработанный нами оценочный подход не является статистическим исследованием по надежным временным рядам, а представляет собой экспертную, интервальную модель с включением эконометрических инструментов. При этом, динамику LCOE для новых и развивающихся технологий ВИЭ возможно построить только по нескольким

точкам (годам), так же, как это делает авторитетная инвестиционная компания LAZARD, результатами которой пользуются большинство специалистов в мировой экономике. Например, в отчете компании за 2017 год ³⁸² приведена динамика интервальных оценок LCOE развитой технологии берегового ветра, построенная по девяти точкам (Прил., рис. Д2). Точность расчетов предложенного подхода может быть значительно повышена за счет увеличения числа исходных данных по новым и имеющимся проектам ВИЭ, а также перехода от оценок по однофакторной к двухфакторной модели с учетом инвестиций в НИОКР, используя проекты, начиная с пятого уровня TRL и выше. Однако, такие данные получить достаточно трудно, так как они обычно являются коммерческой тайной разработчиков. Наконец, использование данных до 2016 года по оффшорным ВЭУ Германии носит характер демонстрации предложенного подхода, а не полное целенаправленное исследование современного состояния этого вида ВИЭ, который к 2019 году в этой стране БСМ уже стал зрелой технологией и по которому за рубежом в последнее время уже появился ряд доступных публикаций и отчетов. Рассмотренный подход целесообразно применять, как для оценки динамики снижения нормированной стоимости электроэнергии LCOE, так и для построения по полученным данным LCOE кривых обучения новых и развивающихся технологий отдельных видов ВИЭ для различных стран мира.

3.2.2 Эконометрический подход прогнозных оценок динамики роста возобновляемых ресурсов на примере морской ветроэнергетики стран БСМ

Теоретическое обоснование подхода. В прогнозах энергетической трансформации ЕС использует целый ряд достаточно сложных моделей, где десятками экспертов учитываются различные макро и микроэкономические факторы, параметры и индикаторы.³⁸³ Для оценок развития новых технологий ВИЭ необходимого объема данных ещё не существует, но можно проводить исследования на базе эконометрических подходов. Формирование связи между

³⁸² Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

³⁸³ Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics.

IRENA. URL:https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf (дата обращения 10.01.2018)

ростом генерации и установленных мощностей таких планируемых или внедренных ВИЭ, с кривыми обучения этих проектов, обеспечивает возможность среднесрочного прогнозирования роста ресурсов новейших технологий ВИЭ. Такой разработанный автором работы подход позволяет оценить будущую динамику замещения традиционной энергетики новейшими технологиями ВИЭ в странах БСМ и ожидаемую долю возобновляемой энергетики в их топливо - энергетическом балансе.³⁸⁴

В рамках анализа энергетических процессов кривая обучения представляет собой зависимость полных издержек генерации энергии (LCOE) от совокупного объема генерации за год и не имеет прямой привязки ко времени, то есть, с математической точки зрения не важно, через какое конкретно число лет от настоящего момента будет достигнут уровень генерации X , так как именно тогда значение LCOE станет равно Y . Имея только кривую обучения нельзя точно сказать, насколько по времени удалены от настоящего момента тот или иной уровень производства и величина LCOE. Поэтому, применения кривой обучения для прогнозных оценок требует дополнительной проработки и привязки прогноза к определенным моментам в будущем. Другими словами, кривую обучения необходимо применять для прогнозирования одновременно с учетом динамики исследуемого процесса. Потенциал применения модели кривой обучения для прогнозных оценок, основанной на рассмотренной в разделе 3.2.1. системе двухфакторных одновременных уравнений (3.12) и (Прил., табл. Д1), можно продемонстрировать на примере простой графической модели (Рис.3.12). Первое уравнение в этой системе представляет собой зависимость накопленной мощности установок генерации энергии (X) от расходов на НИОКР и от времени, второе – аналогичную зависимость для себестоимости генерируемой энергии (Y). В данном случае динамика всех параметров, кривая обучения и линия, демонстрирующая эффект роста расходов на НИОКР связаны в единую модель. На практике процесс $RD(t)$ является непрерывным и неубывающим, поскольку

³⁸⁴ Крюков В.А., Горлов А.А., Прогнозирование процессов развития ветровой энергетики в бассейне Северного моря на базе кривых обучения// Проблемы прогнозирования.- 2019.- №2. – С.93-103

подразумевается накопленная величина расходов на НИОКР. Учет данного показателя дает уникальные возможности по построению прогнозных значений мощности, себестоимости и кривой обучения на будущее путем глубокого исследования или сценарного прогнозирования динамики расходов на НИОКР. Для демонстрации возможностей рассмотрим гипотетический процесс накопления расходов на НИОКР в гипотетической отрасли альтернативной энергии в виде кривой с убывающей скоростью накопления (Рис.3.12, средний верхний график).

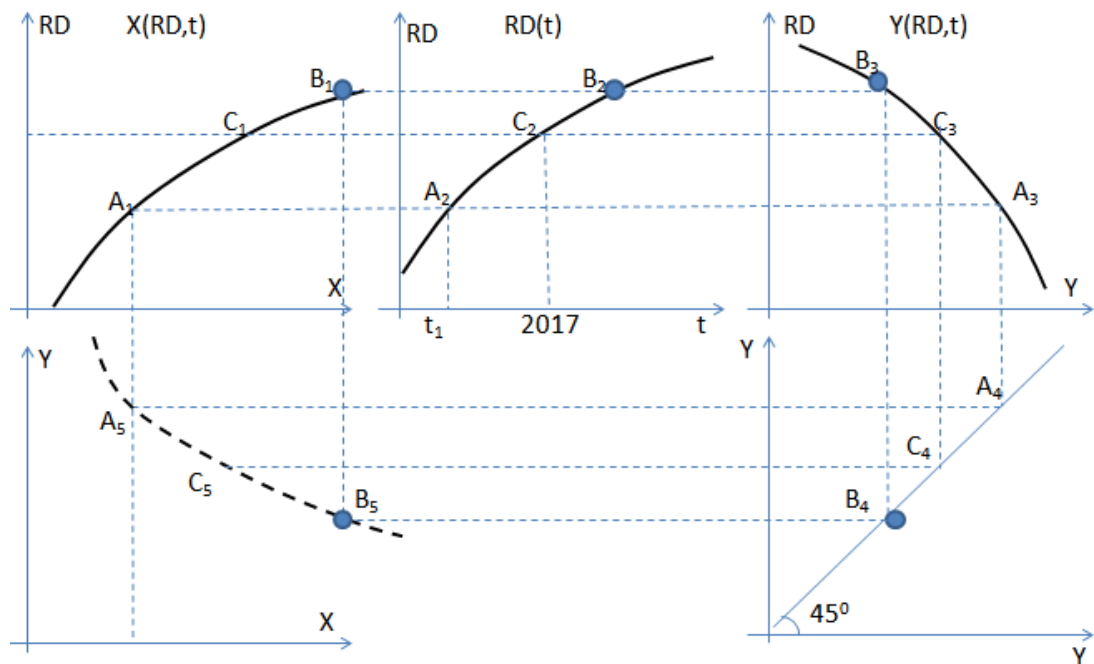


Рисунок 3.12 - Прогнозный подход оценок динамики с помощью кривых обучения

Условные обозначения: RD – накопленные расходы на НИОКР, t – ось времени, Y – себестоимость генерации энергии, X – совокупная мощность. Точки: A_i – абстрактная точка в недавнем прошлом, C_i – условный «сегодняшний день», 2017 год, B_i – прогноз. Правый нижний график в системе координат Y - Y имеет исключительно технический характер и необходим для связи ординаты Y на кривой обучения с абсциссой t на верхнем среднем графике.

Составлено автором

Точка C_2 с координатой $t=2017$ по оси времени на среднем верхнем графике является границей между реальными и прогнозируемыми значениями расходов на НИОКР. Прогнозные значения могут быть получены использованием модели ременных рядов к показателю $RD(t)$ путем экспоненциального сглаживания или же сценарных прогнозов в рамках более сложных моделей. В любом случае, при наличии обоснованного прогнозного значения показателя «расходы на НИОКР»,

можно определить координаты точки B_2 на среднем верхнем графике. В свою очередь, наличие прогноза расходов на НИОКР позволяет одновременно построить независимые прогнозы совокупной мощности (X) и себестоимости (Y), на левом и правом верхних графиках соответственно указанные прогнозы отображены точками B_1 и B_3 . Наконец, соотнесение точек B_i с верхних графиков в системе координат «себестоимость/производство» позволит получить точку на кривой обучения (левый нижний график), которая относится к будущему периоду времени, в чем легко убедиться, осуществив ее перенос на средний верхний график. Таким образом, для технологии, по которой имеется достаточно данных о динамике инвестиций на НИОКР для построения прогноза расходов RD , может быть построен также прогноз кривой обучения и рассчитана точка (момент времени) достижения кривой обучения произвольного уровня, поскольку точки B_i на графике выше строго привязана к моменту времени. При отсутствии подобной информации о НИОКР может быть построен менее точный прогноз с использованием только данных о динамике объема производства энергии и издержек $LCOE$ по однофакторной версии модели.

В соответствие с рассмотренными теоретическими предпосылками (Рис.3.12) для однофакторной модели (уравнение 3.7) на первом этапе разработанного нами подхода прогнозирования выполняется оценка «тренда $LCOE$ », при этом динамика изменения $LCOE$ описывается логарифмической кривой вида:

$$\ln(LCOE) = A_1 + A_2 * \ln(t) \quad (3.16)$$

где t – момент времени.

На втором этапе выполняется оценка производственной функции типа Кобба-Дугласа, которая для технологий ВИЭ определяется зависимостью объема производства электроэнергии ($PROD$) от суммарной установленной мощности (POW):

$$\ln(PROD) = a_0 + a_1 \ln(POW) \quad (3.17)$$

Третьим шагом является оценка кривой обучения, для чего нужны данные об $LCOE$ и о динамике выработки энергии ($PROD$). Уравнение кривой обучения имеет вид:

$$\ln(\text{LCOE}) = a_0 + a_1 \ln(\text{PROD}) \quad (3.18)$$

На последнем этапе выполняются прогнозные оценки динамики суммарной установленной мощности (POW) и величины выработки энергии (PROD) исследуемой технологии ВИЭ до заданного момента времени в будущем. Разработанный подход позволяет выполнять расчеты в автоматическом режиме с помощью стандартной программы Excel. Следует отметить, что качество прогноза значительно повышается по мере возможности использования новых проектных данных, связанных с развитием технологий ВИЭ.

Апробация подхода на примере морских ВЭУ Франции, Великобритании и других стран БСМ. Осенью 2017 года, когда у берегов Великобритании нефтегазовая компания Statoil ввела в действие первую в мире коммерческую плавучую ВЭУ «Hywind Scotland» мощностью 30 МВт³⁸⁵, по уровню значений LCOE технологии плавучих ВЭУ ещё не могли конкурировать с оффшорными ветровыми установками. Анализ доступных зарубежных работ³⁸⁶ позволил получить ряд существующих и прогнозных оценок нормированной стоимости плавучих ВЭУ стран БСМ (Табл.3.5), достаточных для того, чтобы выполнить расчет предполагаемой динамики LCOE этой технологии в период с 2017 по 2030 годы.

Таблица 3.5
Оценка LCOE технологий плавучих ВЭУ

Год	Min \$/МВт-ч	Avg \$/МВт-ч	Max \$/МВт-ч
2020	95	150	204
2025	68	109	157
2030	48	88	143

Составлено автором по данным источников : Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust.URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018) ; Forecasting Wind Energy Costs&Cost Drivers. URL: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1005717.pdf> (дата обращения 15.03.2017)

³⁸⁵ Первая в мире плавучая ветростанция: эффективность работы превышает все прогнозы.

URL:http://in-power.ru/news/Alternativnaya_energetika/35499-Pervaya-v-mire-plavuchaya-vetrostantsiya-effektiv.html (дата обращения 12.01.2019)

³⁸⁶ Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust.URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018) ; Forecasting Wind Energy Costs&Cost Drivers. URL: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1005717.pdf> (дата обращения 15.03.2017)

С целью выполнения всестороннего прогноза целесообразно проводить оценки по трем основным сценариям (max, min и средний - avg) соответствующих значений LCOE. Для всех сценариев оптимальными уравнениями динамики LCOE оказывается логарифмическая зависимость от времени, имеющая, например, для сценария с минимальными издержками следующий вид:

$$\ln(LCOE_{min}) = 5.46 - 0.596 \ln(t), R^2 = 0.99, Prob(t) = Prob(F) = 0 \quad (3.19)$$

Расчетные данные и все уравнения полностью приведены в приложении (Табл.Е1, Е2). При этом, для сценария с минимальными издержками LCOE коэффициент детерминации равен 0,99, для среднего - 0,952, а для максимального - 0,99. Все полученные уравнения характеризуются высоким уровнем статистической значимости в целом по результатам F-теста, а также статистической значимостью коэффициентов наклона по результатам t-теста. Кривые прогноза динамики издержек в рамках различных сценариев выглядят следующим образом (Рис. 4.6).

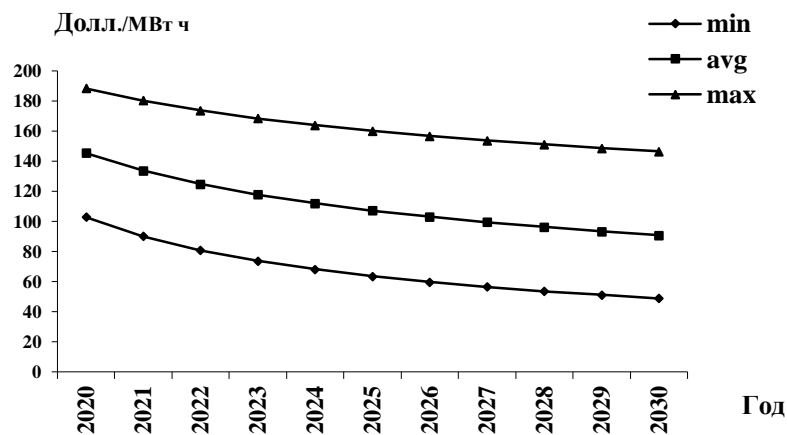


Рисунок 3.13 - Прогноз динамики LCOE плавучих ВЭУ стран БСМ
 Рассчитано и составлено автором

Используя полученные зависимости (Рис.3.13), можно осуществить «спуск» по уравнениям кривых обучения и оказаться в новой точке (Рис.3.12, точка В₅), которая находится в моделируемом будущем. Поскольку кривая обучения в рамках каждого сценария задает взаимно-однозначное соответствие между условными издержками и совокупным объемом генерации энергии

соответствующего типа, имеющийся прогноз динамики LCOE позволяет построить прогноз объемов генерации энергии плавучих ветровых установок, например, для Франции. По причине ранней стадии развития технологий плавучих ВЭУ построить динамику производства энергии напрямую не представляется возможным. Однако это можно сделать, используя гипотезу о высокой степени корреляции между технологиями ВЭУ на суше и в море. Принципиальная возможность оценивания кривых обучения для энергетических технологий, находящихся на наиболее ранних этапах развития, по аналогии с уже достаточно развитыми технологиями, была отмечена ещё в 2000 году.³⁸⁷ По ВЭУ на суше Франции имеются статистические данные³⁸⁸, как об установленной мощности, так и о производстве энергии (Прил.,табл. E3), достаточные для того, чтобы по ним методом наименьших квадратов оценить уравнение производственной функции (Прил.табл. E4):

$$\begin{aligned} \ln(\text{Prod}) &= -0.064 + 1.075 \ln(\text{POW}), & R^2 &= 0.989, \\ \text{Prob}(F) &= \text{Prob}(t) = 0 \end{aligned} \quad (3.20)$$

где PROD- выработка электроэнергии (ГВт-ч), а POW- мощность (МВт).

На основании анализа доступных источников ³⁸⁹ были отобраны отдельные проекты плавучих ВЭУ во Франции, по которым имеется достоверная информация (Табл.3.6).

Данные о мощности проектов были собраны по годам и с помощью производственной функции (3.20) пересчитаны в значения выработки электроэнергии плавучими ВЭУ Франции (Прил.,табл. E5). Соответственно, зная уравнения вида (3.19) для всех сценариев прогноза динамики LCOE (Рис.3.13) и данные о производстве энергии, можно оценить кривые обучения,

³⁸⁷ Experience Curves for Energy Technology Policy // OECD/ IEA. 2000. 147 p. URL: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf> (дата обращения 21.05..2017)

³⁸⁸ Статистика энергетического сектора ЕС. URL:

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_june2017_update.xlsx

³⁸⁹ Floating Offshore Wind Vision Statement . Wind Europe. URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018); Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust.URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

Таблица 3.6

Подтвержденные проекты плавучих ВЭУ во Франции

Название проекта	Год	Мощность
		МВт
Floatgen	2017	2,0
EolMedGruissan areathe Medditerranean	2018	24
OCEAGEN	2018	2,0
SEAREED	2019	6
Vertiwind - Mistral	2019	2,6
Groix, theBrittanyRegion	2020	24
Provence Grand Largethe Medditerranean.	2020	24
Les éoliennesflottantes du golfe du Lion	2021	24

Составлено автором. Источник: Floating Offshore Wind Vision Statement . Wind Europe. URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018); Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust. URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

уравнение которой по сценарию с минимальными издержками имеет вид:

$$\ln(LCOE_{min}) = 5.72663 - 0.23 \ln(Prod), R^2 = 0.872, Prob(t) = Prob(F) = 0.02$$

Подставляя в уравнения кривых обучения (Прил., табл. Е6) значения LCOE на 2030 год, соответствующие различным сценариям, получаем прогнозные оценки выработки электроэнергии плавучими ВЭУ Франции на этот год (3,0 и 9,5 ТВт-ч). Далее, подставляя соответствующие полученные прогнозные величины выработки энергии в уравнение производственной функции (3.20), в зависимости от сценария получаем прогнозные величины кумулятивной мощности ВЭУ на 2030 год (1,8 и 5,3 ГВт), Аналогично производится расчет в программе Excel всех необходимых данных для построения прогнозов по плавучим ВЭУ Франции (Рис.3.14). Более подробно данные по всей последовательности проведенной прогнозной оценки и уравнения для Франции приведены в Приложении Е.

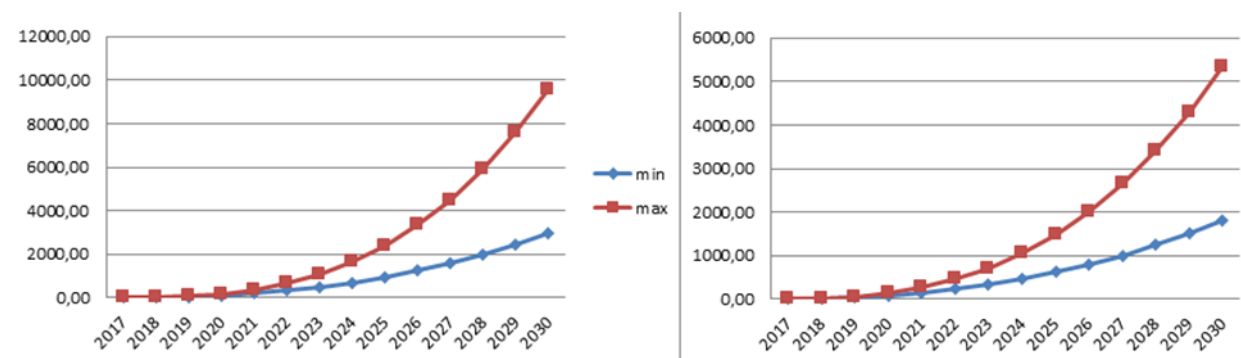


Рисунок 3.14 - Прогнозы для технологии плавучих ВЭУ Франции. На графике слева приведена динамика роста производства электроэнергии (ГВт-ч), на графике справа - динамика роста суммарной установленной мощности (МВт)

Рассчитано и составлено автором

Рассмотренный подход был использован также для прогнозных оценок плавучего ветра Великобритании, для чего на основании анализа доступных источников ³⁹⁰ были отобраны отдельные проекты, по которым имеется достоверная информация (Прил., табл. Ж1). По тому же алгоритму, как и для Франции, были получены все необходимые данные, кривые обучения и другие уравнения (Прил., табл. Ж2, Ж3, Ж4, Ж5), на основании которых были рассчитаны прогнозные оценки выработки электроэнергии и кумулятивной мощности плавучими ВЭУ Великобритании (Прил., табл. Ж6). Так, соответствующие величины на 2030 год составляют для максимального сценария 31ТВт-ч и 12,5 ГВт (Прил., рис. Ж1).

В такому же алгоритму и в такой же последовательности осуществлялись прогнозные оценки для развивающихся технологий оффшорных ВЭУ Бельгии, Дании и Нидерландов. Отличием является только то, что для расчетов использовался прогноз тренда издержек LCOE не плавучих ВЭУ (Рис.3.13), а оффшорных ВЭУ стран БСМ, полученный в разделе 3.2.1 с помощью модифицированного нами подхода «times model» на примере оффшорных ВЭУ Германии (Прил., табл. Д5, Д6, рис. Д3).

³⁹⁰ Floating Offshore Wind Vision Statement. Wind Europe. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018); Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust. URL: <https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

Исходя из теоретических предпосылок, определяемых системой уравнений (3.12) и (Прил., табл. Д1) , а также графиками (Рис. 3.12), качество прогноза процессов динамики развивающихся технологий ВИЭ должно существенно повышаться при учете инвестиций в НИОКР. Но получить соответствующую статистику по таким уже действующим проектам и расчетным путем подтвердить рассматриваемую гипотезу оказалось достаточно трудно. Нам удалось найти доступные данные о инвестициях в НИОКР по ещё только разрабатываемым девяти проектам плавучих ВЭУ ³⁹¹, с уровнями TRL (раздел 3.2.1), не превышающими семи баллов, что соответствует демонстрационным образцам ВИЭ.³⁹² Это позволило построить имитационный прогноз развития технологии плавучих ВЭУ для стран БСМ с учетом динамики расходов на НИОКР и сравнить его с прогнозными оценками развития той же технологии, выполненными без учета таких расходов. Плавучие ВЭУ являются одной новейших технологий ВИЭ , поэтому можно допустить, что инвестиции в НИОКР до 2017 года занимали долю, достигавшую 100%. в совокупных затратах на эти проекты (Прил., табл. И1). Исходя из этого, принимаем, что совокупные инвестиции в рассматриваемые проекты плавучих ВЭУ, в период с 2011 по 2018 годы, могут использоваться как инструментальная переменная для ненаблюдаемого показателя «инвестиции в НИОКР (RD)». Выполненные нами расчеты показали, что расходы на НИОКР оказывают влияния на динамику LCOE в рамках сценария с максимальными издержками (max) и сценария со средними издержками (avg). В обоих случаях скорректированный коэффициент детерминации возрастает с 0.877 до 0.912 при добавлении логарифма расходов на НИОКР в число регрессоров кривой обучения. Это подтверждает, что расширенная модель (уравнение 3.12) позволяет аппроксимировать данные лучше, чем однофакторная версия модели (уравнение 3.7). Полученная

³⁹¹ Floating Offshore Wind Vision Statement. Wind Europe. URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018)

³⁹² Horizon 2020 – Work Programme 2014-2015. 18 General Annexes// European Commission Decision C 86312013. URL:http://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/h2020/common/1597678-part_18_general_annexes_incl_corr_en.pdf (дата обращения 11.08.2017)

двухфакторная кривая обучения, например, для максимального сценария имеют следующий вид:

$$\ln(LCOE_{max}) = 5.98 - 0.1 \ln(Prod) - 0.05 \ln(RD), \quad R^2 = 0.955 \quad (3.21)$$

где Prod – производство энергии плавучих ВЭУ (ГВт-ч /год), RD – инвестиции в НИОКР (\$ млн/год).

Для сравнения кривых обучения для сценария с максимальными значениями LCOE, построенных с учетом и без учета инвестиций в НИОКР , рассмотрим их на одном графике (Рис.3.15).

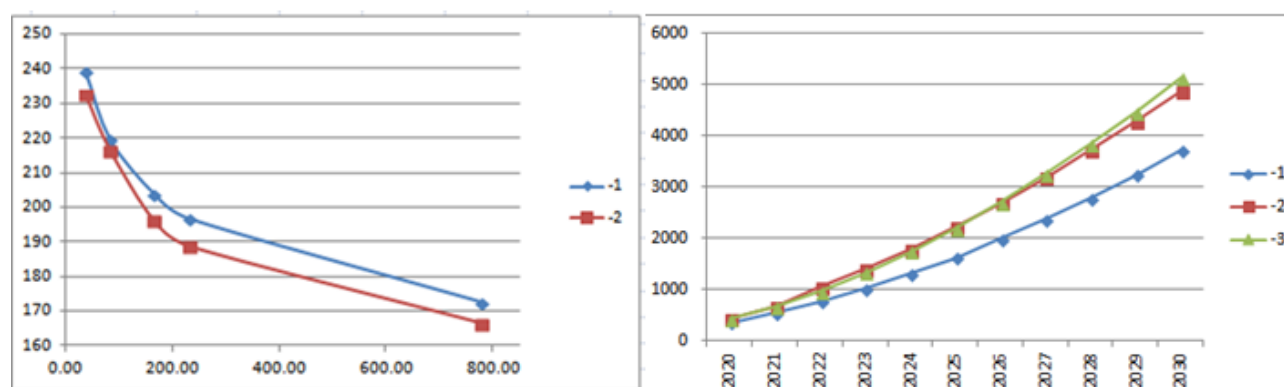


Рисунок 3.15 - Одно- и двухфакторные кривые обучения плавучих ВЭУ (график слева) и имитационный прогноз производства энергии технологиями плавучих ВЭУ (график справа) На графике слева представлены кривые обучения без учета (1) и с учетом (2) расходов на НИОКР. По оси абсцисс производство энергии Prod (ГВт-ч/год), а по оси ординат нормированная стоимость энергии LCOE (\$/MВт). На графике справа по оси абсцисс - годы, по оси ординат –производство энергии (ГВт-ч/год).

Рассчитано и составлено автором. Исходные данные : Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust.URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

Видно, что учет расходов на НИОКР в уравнении кривой обучения снижает издержки максимального сценария без учета таких инвестиций (линия 1) на 3%-5% (линия 2) при равных уровнях производства энергии. Также были построены прогнозы расходов на НИОКР до 2030 года, путем построения простой экстраполяции (Прил., табл. И2.И3), а также на основе гипотезы о постоянном темпе роста расходов на НИОКР, который, согласно имеющимся экспертным мнениям, может быть равен 5%.³⁹³ Отметим, что прогнозы динамики инвестиций,

³⁹³ Экономический обзор Германии рынок, производительность, инновации 2016. URL:https://www.gtai.de/GTAI/Content/RU/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/economic-overview-germany-russisch.pdf?v=4 (дата обращения 17.04.2018)

не смотря на различные подходы к экстраполяции роста НИОКР, практически не отличаются друг от друга. Для сценария со средними издержками приведен имитационный прогноз производства энергии по однофакторной кривой обучения, без учета инвестиций в НИОКР (Рис.3.15, линия 1) и, в двух вариантах прогнозов динамики НИОКР, по двухфакторной кривой обучения, с учетом инвестиций в НИОКР (линии 2, 3). Согласно выполненному нами имитационному прогнозу, к 2030 году производство энергии плавучих ВЭУ в странах БСМ в среднем сценарии может достигнуть 5,1 ТВт-ч с учетом расходов на НИОКР, а без их учета только 3,6 ТВт-ч. Это подтвердило правомерность теоретического обоснования (уравнение 3.12, рис.3.12) о влиянии расходов на НИОКР на результаты прогнозирования. Кроме того, интересно, что полученные имитационные оценки, выполненные по данным проектов, ещё пока находящимся в разработке³⁹⁴, достаточно близки к полученным нами результатам прогнозов по реальным проектам плавучего ветра Франции и Великобритании. Полный набор исходных и расчетных данных приведен в приложении (Табл. И1-И4). Разработанный подход на основе кривых обучения можно использовать для прогнозирования развития различных начинающих развиваться технологий ВЭУ любой страны, в которой уже имеются достоверные начальные данные о мощности, выработке и издержках проектов. Это позволит постоянно корректировать, используя матрицу $X(t)$, имеющиеся и «разведанные» суммарные возобновляемые ресурсы (разд. 1.1)

Макроэкономические оценки процессов замещения в энергетике стран БСМ.

Темпы развития оффшорных ВЭУ стран БСМ возрастают с каждым годом, для чего только за первую половину 2017 года было освоено 2,9 млрд. евро инвестиций, из которых около 53% пришлись на Германию.³⁹⁵ К 2018 году мощность

³⁹⁴ Floating Offshore Wind: Market and Technology Review // Carbon Trust. URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

³⁹⁵ Europe adds 6.1 GW of wind energy capacity in first half of 2017. URL:<https://windeurope.org/newsroom/europe-adds-6-1-gw-wind-energy-capacity-first-half-2017> (дата обращения 11.06.2018); Europe is building more wind and solar — without any subsidies URL: <https://www.vox.com/2018/5/30/17408602/solar-wind-energy-renewable-subsidy-europe> (дата обращения 17.02.2019)

оффшорных ВЭУ в Великобритании достигла 6,8 ГВт, в Германии – 5.3 ГВт, в Дании – 1,3 ГВт, в Нидерландах – 1,1 ГВт и в Бельгии - 0,88 ГВт (Рис.3.16). Эти страны БСМ вошли в пятерку мировых лидеров по темпам роста оффшорных ветровых технологий.³⁹⁶ Согласно прогноза консалтинговой компании Wood Mackenzie³⁹⁷, в 2019 году в Европе суммарная мощность морских ВЭУ составит 16 ГВт,

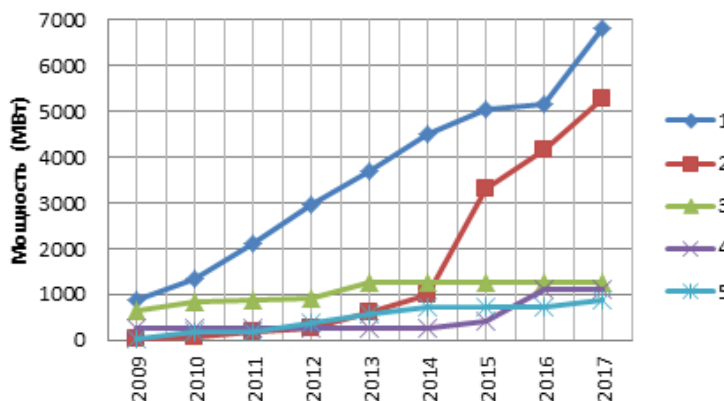


Рисунок 3.16- Динамика роста установленной мощности морских ВЭУ стран БСМ за период 2009 -2017 годы. Кривые : 1- Великобритания, 2 – Германия , 3- Дания, 4 – Нидерланды, 5- Бельгия

Составлено автором. Источник: Wind energy in Europe: Outlook to 2020 // WindEurope.

URL:<https://windeurope.org/about-wind/reports/wind-energy-in-europe-outlook-to-2020/#download> (дата обращения 21.03.2018)

а в период 2018 - 2027 будет внедрено всего 47 ГВт. По данным компании LAZARD, самая низкая стоимость производства электроэнергии в 2017 году была от береговых ВЭУ (\$30-60/МВт-ч) к которой стали приближаться оффшорные ВЭУ, а затем от натурального газа, минимальное значение LCOE которого составила \$43/МВт-ч.³⁹⁸ Обычно, коэффициент использования установленной мощности (КИУМ, Capacity Factor) оффшорных ВЭУ превышает этот показатель ветровых установок на суше.³⁹⁹ Например, КИУМ датской оффшорной ветровой фермы «Horns Rev2», мощностью 209,3 МВт, составил в среднем 47,7%, что близко к

³⁹⁶ Renewables 2017. Analysis and Forecasts to 2022 . IEA. URL:<https://webstore.iea.org/market-report-series-renewables-2017>(дата обращения 27.03.2018)

³⁹⁷ Global Wind Power Market Outlook . URL: <https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/Global-Wind-Power-Market-Outlook-Q1-2018/>(дата обращения 15.02.2019)

³⁹⁸ Lazard , Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

³⁹⁹ Offshore Energy Outlook . URL: https://www.iea.org/publications/publication/WEO2017Special_Report_OffshoreEnergyOutlook.pdf (дата обращения 12.02.2019)

этим показателям угольной и газовой генерацией.⁴⁰⁰ Согласно экспертным оценкам, Великобритания к 2025 году увеличит число плавучих ветровых платформ в 20 раз по сравнению с 2020 годом и еще в два раза – к 2030 по сравнению с 2025.⁴⁰¹ Вдали от берега возрастает сила ветра, что обеспечивает увеличение КИУМ плавучих ВЭУ, а в силу меньших ограничений по размерам и высоте, чем на суше, они могут быть просто гигантскими. Уже разрабатываются проекты морских ВЭУ мощностью 12 МВт, с диаметром колеса 220 и высотой около 260 метров, что позволит увеличить КИУМ до 55% - 69%..⁴⁰² Это окажет значительное влияние на уровень издержек, потому, что увеличение КИУМ от 40% до 50% снижает LCOE примерно на 20%.

Важной особенностью процессов энергетического замещения в странах бассейна Северного моря является то, что в последние годы именно на этих акваториях разрабатываются, внедряются и исследуются технологии успешного взаимодействия зрелого морского нефтегазового сектора и новейших направлений морских ВИЭ.⁴⁰³ Крупные нефтегазовые компании уже пришли в сектор оффшорных ВЭУ, например, компания Statoil осуществляет такие проекты в Великобритании и Германии, а компания Shell стала победителем в 2017 году на морских ветровых аукционах в Нидерландах. Датская энергетическая компания Ørsted (бывшая DONG) продала свои нефтегазовые активы и в настоящее время полностью сосредоточена на цели внедрения к 2020 году до 12 ГВт суммарной установленной мощности ВИЭ.⁴⁰⁴ Масштабы крупных морских ветровых проектов сопоставимы с проектами добычи ископаемого топлива, что привлекательно для нефтегазовых компаний. Например, для реализации оффшорного ветрового проекта «Dogger Bank» в Великобритании, общей мощностью 4,8 ГВт, необходимо около \$21 млрд. инвестиций, что сравнимо со стоимостью \$20 млрд.

⁴⁰⁰ Andrew . Capacity factor at Danish offshore wind farms. URL:

<http://energynumbers.info/capacity-factors-at-danish-offshore-wind-farms> (дата обращения 22.01.2019)

⁴⁰¹Floating Offshore Wind: Market and Technology Review // Carbon Trust. URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

⁴⁰² World Energy Outlook . URL: <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook> (дата обращения 12.01.2019)

⁴⁰³ World Energy Outlook . URL: <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook> (дата обращения 12.01.2019)

⁴⁰⁴ World Energy Outlook . URL: <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook> (дата обращения 12.01.2019)

разработки норвежского морского месторождения «Johan Sverdrup».⁴⁰⁵ В проектах плавучих ВЭУ широко используются технологический и эксплуатационный опыт морской нефтегазовой отрасли стран БСМ, что быстро приведет к снижению их LCOE. Электрификация различного оборудования и потребителей на морских нефтегазовых платформах от размещенных рядом плавучих ВЭУ обеспечит сокращение выбросов токсичных выхлопных газов. Большие перспективы имеет концепция WINWIN, заключающаяся в использовании плавучих ВЭУ для электроснабжения системы закачки воды высокого давления в нефтяные скважины с целью продления срока службы существующих истощенных нефтяных месторождений, что может позволить увеличить глобальную выработку нефти на \$500 млн. в день.⁴⁰⁶ Для реализации этой концепции, компания DNV GL в 2015 году создала консорциум JIP с представителями, как нефтегазового, так и возобновляемого секторов энергетики, среди которых компании Exxon Mobil., Statoil и другие. Результаты всех подобных синергетических направлений в Северном море выходят далеко за рамки энергетического сектора, охватывая многие другие аспекты морской деятельности мировой экономики.⁴⁰⁷

Прогнозные исследования технологий морского ветра на базе подхода с использованием кривых обучения проводились нами ещё до подключения к сети первой в мире коммерческой плавучей установки, поэтому полученные результаты по этой технологии ВИЭ на 2030 год для Великобритании и Франции показались тогда чрезмерно оптимистичными. Однако, в 2018 году представители бизнеса Великобритании обратились в Правительство с просьбой поддержать план внедрения к 2030 году плавучих ВЭУ мощностью до 5,0 ГВт, а авторитетная британская компания Carbon Trust прогнозирует к этому году достижение в стране более 10 ГВт таких ВИЭ.⁴⁰⁸ В конце 2017 года группа политиков и предпринимателей обратилась в правительство Германии с

⁴⁰⁵ World Energy Outlook. URL: <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook> (дата обращения 12.01.2019)

⁴⁰⁶ In Depth Techtalk : Floating wind-powered water injection. URL: <http://www.offshorewind.biz/2016/11/25/in-depth-techtalk-floating-wind-powered-water-injection/>(дата обращения 11.02.2018)

⁴⁰⁷ World Energy Outlook. URL: <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook> (дата обращения 12.01.2019)

⁴⁰⁸ UK should target 5GW of floating wind by 2030: FOFOW. URL: <http://www.rechargenews.com/wind/1452273/uk-should-target-5gw-of-floating-wind-by-2030-fofow> (дата обращения 02.02.2019)

требованием внедрения до 2035 года морских ВЭУ мощностью 35 ГВт, что в пять раз превысит мощность оставшихся на 2018 год атомных электростанций.⁴⁰⁹ Также планируется совместное ускоренное развитие морских ВЭУ Германией, Данией и Бельгией.⁴¹⁰ Эти новые данные, как и некоторые другие, достаточно близки к результатам выполненных нами в 2017 году прогнозных оценок динамики морских ВЭУ (Табл.3.7).

Таблица 3.7

Результаты выполненных прогнозных оценок по морскому ветру для стран БСМ

Технология ВИЭ Страна БСМ	Плавающие ВЭУ		Оффшорные ВЭУ	
	PROD (ГВт-ч)	POW (ГВт)	PROD (ГВт-ч)	POW (ГВт)
Великобритания	3,0 – 31,0	6,0– 12,5	---	---
Нидерланды	---	---	10 - 11	14,0 – 15,0
Дания	---	---	4,7 – 5,8	2,5 – 2,9
Бельгия	---	---	5,0 – 5,8	2,5 – 3,0
Франция	3,0 - 9,5	1,8 – 5,0	---	---

Расчитано и составлено автором

Существует много различных сценариев развития ВЭУ в ЕС (рис.3.17).

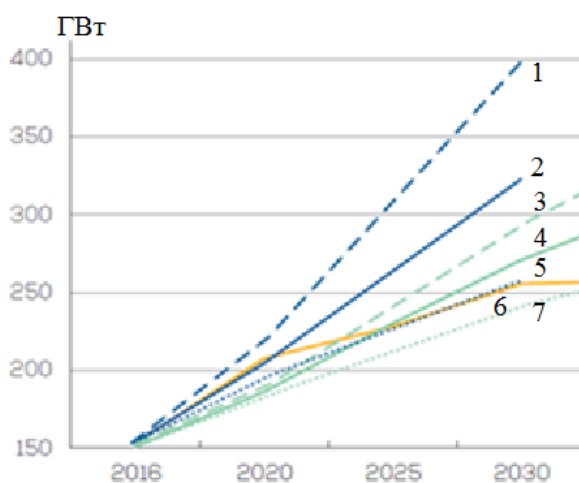


Рисунок 3.17 - Прогнозные сценарии для технологий ветровой энергетики в ЕС до 2030 года, 1- WindEurope (max), 2- WindEurope (avg), 3- IEA (сценарий 450), 4- IEA (новая политика), 5 - ЕвроКомиссия, 6 - WindEurope (min), 7 - IEA (текущая политика). Составлено автором по данным: Wind energy in Europe: Scenarios for 2030. WindEurope. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf> (дата обращения 03.02.2018)

⁴⁰⁹ Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2018 году. URL: <https://www.dw.com/ru/возобновляемые-источники-выйдут-на-1-е-место-в-энергетике-фрг-в-2018-году/a-42081787> (дата обращения 19.02.2019)

⁴¹⁰ Germany, Denmark and Belgium pledge fivefold increase to the world's offshore wind capacity in a decade. URL: <https://www.independent.co.uk/news/business/news/germany-denmark-and-belgium-pledge-to-fivefold-the-worlds-offshore-wind-capacity-in-a-decade-a7775681.html> (дата обращения 12.03.2019)

К ним относятся: минимальный, центральный и максимальный прогнозные сценарии, Ассоциации «WindEurope», сценарий «Новой политики» Агентства IEA, сценарий «Текущая политика» IEA, сценарий IEA450, сценарий Европейской Комиссии и другие.⁴¹¹ Они отличаются между собой оценками величин установленной кумулятивной мощности и производства электроэнергии к 2030 году. Наши прогнозные оценки оказались близки к оценкам «Центрального сценария WindEurope» (Рис.3.18, кривая 2), согласно которому к 2030 году кумулятивная мощность ветровой энергетики в ЕС должна достигнуть 323 ГВт, из которых 70 ГВт относятся к оффшорным технологиям, включая плавучие ВЭУ, а 253 ГВт к береговым установкам. Ветроэнергетика ЕС должна производить к 2030 году до 888 ТВт-ч электроэнергии, что составит 30% спроса на неё в странах ЕС, обеспечить инвестиции до 239 млрд. евро и занятость до 569 тысяч человек, а также приведет к сокращению выбросов CO₂ до 382 млн. тонн и снижению импорта углеводородов на сумму 13,2 млрд. евро/год.⁴¹² Такой уровень развития ветровых технологий по «сценарию новой политики МЭА» планируется достигнуть только к 2040 году, а по «сценарию ЕС» не раньше 2045 года. Эти различия объясняются более интенсивной динамикой развития ветровой энергетики в прогнозе «Центрального сценария WindEurope», особенно оффшорных и плавучих ВЭУ, что связано с ожидаемым значительным снижением величины LCOE морских ветровых технологий. По этому сценарию Германия к 2030 году должна стать ведущей страной БСМ с установленной мощностью ветровых ВИЭ более 85 ГВт, что составит более 25% от общей мощности ветра ЕС. Второй страной по ветроэнергетике станет Франция (43 ГВт), а третьей - Великобритания (37,5 ГВт), у которой около 60% ВЭУ планируется установить в море. Согласно «Центрального сценария WindEurope» суммарная мощность ВЭУ в странах БСМ к 2030 году достигнет 203 ГВт и за счет ветровой энергетики будут обеспечены высокие макроэкономические показатели,

⁴¹¹ Wind energy in Europe: Scenarios for 2030. Wind Europe. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf> (дата обращения 03.02.2018)

⁴¹² Wind energy in Europe: Scenarios for 2030. WindEurope. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf> (дата обращения 03.02.2018)

связанные с процессами замещения традиционной энергетики возобновляемой. По нашим расчетам, при этом сценарии страны БСМ должны на 2030 год достигнуть производства электроэнергии до 497 ТВт-ч, роста занятости до 358,5 тысяч рабочих мест, привлечь около 150,6 млрд. евро инвестиций, добиться сокращения выбросов парниковых газов до 240,66 млн. тонн и снижения импорта углеводородов в эти страны на 8,3 млрд. евро. Приведенные в первой строке таблицы 3.8 макроэкономические показатели рассчитаны нами для

Таблица 3.8

Некоторые прогнозные макроэкономические показатели, связанные процессами развития ВИЭ в странах БСМ

Макроэкономические показатели	Суммарная мощность ГВт		Суммарное производство электроэнергии ТВт-ч		Инвестиции и млрд евро		Рабочие места, тысячи человек		Снижение выбросов CO ₂ млн тонн		Снижение импорта углеводородов млрд евро	
	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max
Сценарии WindEurope												
Ветровые ВИЭ стран БСМ	203	239	533	677	151	211	358	430	241	291	8,3	10,0
Ветровые ВИЭ ЕС	323	397	888	1129	239	351	569	716	382	485	13,2	16,6
Совокупные ВИЭ стран БСМ	406	478	1066	1354	302	422	716	860	482	582	16,6	20,0
Совокупные ВИЭ всех стран ЕС	645	797	1692	2256	479	703	1136	1433	765	970	26,3	33,3

Рассчитано и составлено автором по данным: Wind energy in Europe: Scenarios for 2030. Wind Europe. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf> (дата обращения 03.02.2018)

«Центрального» и «Максимального сценария WindEurope», с учетом того, что кумулятивная мощность ВЭУ стран БСМ в первом сценарии составляет 63% от совокупной мощности ВЭУ в ЕС, а во втором 60%. Вторая строка содержит данные этих двух сценариев по ветровой энергетике всех стран ЕС, непосредственно взятые из отчета WindEurope.⁴¹³ Для расчетов прогнозных показателей, приведенных в третьей строке таблицы, нами были определены по

⁴¹³ Wind energy in Europe: Scenarios for 2030. Wind Europe. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf> (дата обращения 03.02.2018)

данным статистики ЕС на 2016 год ⁴¹⁴ доли производства электроэнергии основными видами ВИЭ (солнце, ветер и биомасса) и их установленной мощности по совокупности стран БСМ. При этом оказалось что, как по суммарной установленной мощности, так и по производству электроэнергии, доля ветроэнергетики в странах БСМ составила около 50%. Приняв допущение, что на такое же соотношение долей основных технологий ВИЭ можно ориентироваться в 2030 году, нами были вычислены все остальные прогнозные макроэкономические показатели, связанные с развитием ВИЭ для стран БСМ и для совокупности стран ЕС по рассматриваемым сценариям (строки третья и четвертая таблицы 3.8). Наши расчеты, выполненные на основании данных Европейского Информационного Консультационного Центра ⁴¹⁵, показали, что в 2015 году экспорт углеводородов из России в страны БСМ, при доле топливно-энергетической составляющей около 62% в общем экспорте нашей страны в эти страны ⁴¹⁶, составил около 50 млрд евро. Если принять допущение, что в странах БСМ будет такая же потребность в обеспечении энергоресурсами на 2030 год, то доход от экспорта России в «максимальном» сценарии может сократиться на 20 млрд. евро, а в среднем на 16,6 млрд. евро за счет замещения импорта углеводородов на 40% собственным производством электроэнергии всеми видами ВИЭ этих стран. Полученные данные являются ориентировочными, но они позволяют сделать выводы по вполне возможному сокращению экспорта углеводорода из России в ведущие страны Европы, страны БСМ.

3.3. Перспективы повышения эффективности развития рынка ВИЭ в России с учетом опыта стран БСМ

В России для развития оптового рынка ВИЭ была выбрана отечественная модель - договора на поставку мощности (ДПМ), признанная эффективным

⁴¹⁴ Статистика энергетического сектора ЕС.

URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_june2017_update.xlsx (дата обращения 06.03.2018)

⁴¹⁵ Экспорт из России в Европу. Европейский Информационный Консультационный Центр в России. URL: <http://www.euroinfocenter.ru/set-eikc/poleznaya-informaciya/eksport-iz-rossii-v-evropu> (дата обращения 15.02.2018)

⁴¹⁶ Российский экспорт рванул в Европу.//Эксперт.- 2017.- №21 (1030). С.12-19
<http://expert.ru/expert/2017/21/rossijskij-eksport-rvanul-v-evropu/>(дата обращения 11.01.2018)

инструментов государственной поддержки.⁴¹⁷ ДПМ ВИЭ заключаются по итогам конкурса на инвестиционные проекты СЭС, ВЭУ и МГЭС с победителем и гарантируют ему уровень доходности 12% в течение 15 лет. Решающим критерием отбора является минимизация издержек CAPEX на выполнение проекта, уровни которых для каждого вида ВИЭ устанавливаются Правительством РФ. В результате конкурсной борьбы величина CAPEX постоянно снижается, например, за последние 3 года её уровень для СЭС уменьшился в 2 раза, что привело к рекордно низким уровням LCOE (до 11 руб./кВт-ч). За это же время CAPEX для ВЭУ уменьшился в 3 раза, что позволило прогнозировать к 2024 году снижение LCOE до 5,6 руб./кВт-ч. Другим важным требованием ДПМ является уровень локализации производства основных элементов проектов ВИЭ, выросший к 2019 году для ВЭУ уже до 65%. Кроме того, в ДПМ задается величина КИУМ, определяющего стабильность долговременных продаж электроэнергии от внедренных ВИЭ и на 2019 год составляющего для СЭС - 14%, для ВЭС – 27% и для МГЭС – 34%. Ещё одним требованием ДПМ является обязательство экспорта части созданного оборудования ВИЭ. В случае невыполнения требований ДПМ вводятся штрафные санкции, снижающие доход инвестора. В 2019 году ДПМ уже обеспечили более низкую стоимость электроэнергии ряда проектов ВИЭ, чем у новых тепловых и атомных энергоустановок с LCOE величиной 6-8 руб./кВт-ч, при этом прогнозируется дальнейшее снижение LCOE ВИЭ. Условия ДПМ, особенно по локализации ВИЭ, позволили привлечь на российский рынок ведущие зарубежные компании, такие как «Siemens Gamesa», «Vestas», «Lagerway», и с их помощью обеспечить трансфер новых технологий для реализации отечественных проектов солнечной и ветровой генерации. Уникальный механизм ДПМ не только обеспечил приток инвестиций и портфель проектов ВИЭ суммарной мощностью 5,4 ГВт для ввода до 2025 года, но также позволил создать практически с нуля производственные мощности для этого нового в России

⁴¹⁷ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL:<https://rawi.ru> (датаобращения 12.08.2019)

сектора экономики. Возобновляемая энергетика обеспечила дополнительный спрос на различное отечественное сырье и материалы, инжиниринговые, строительные, страховые и транспортные услуги. Ожидается, что к 2025 году объем только оптового рынка ВЭУ России достигнет 750 млрд. руб., что стимулирует инвестиции 250 млрд. руб. на рынке энергомашиностроения и прибавку в ВВП от сектора ветроэнергетики страны до 0,5% в год.⁴¹⁸

В конце 2019 года Минэкономики РФ определило предполагаемый объем инвестиций на период 2025–2030 годы в 659,3 млрд. руб. (\$10,8 млрд.), что позволит ввести более 24 ГВт новых мощностей ВИЭ.⁴¹⁹ По решению Минэнерго РФ до 2035 года должно быть продлено использование ДПМ ВИЭ, что обеспечит долгосрочный эффект около 7,0 трлн. руб. и поступления от налогов на сумму 1.5 трлн.руб.⁴²⁰ Однако, требования по дальнейшему росту уровня локализации и конкурентоспособному экспорту отечественного оборудования на зарубежные рынки выполнить будет очень проблематично без существенного расширения объема внутреннего рынка ВИЭ. Очевидно, что дополнительно к ДПМ в России уже целесообразно использовать также различные новые эффективные инструменты поддержки развития рынка ВИЭ.⁴²¹

Лучшее из рассмотренного нами опыта развития сектора возобновляемой энергетики мировой экономики может быть успешно востребовано для повышения эффективности роста рынка ВИЭ в России. В первую очередь, целесообразно изучение особенностей триады устойчивой энергетической политики ЕС (стран БСМ) с её обширной нормативно-правовой базой, мультипликативного эффекта синергии факторов влияния на развитие ВИЭ, опыта новой инвестиционной политики, различных инструментов финансовой поддержки, практику вовлеченности населения в «зеленую» энергетику. В

⁴¹⁸Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL:<https://rawi.ru> (дата обращения 12.07.2019)

⁴¹⁹Зеленой энергетике назвали цену. Минэкономики оценило инвестиции в ВИЭ до 2030 года URL <https://www.kommersant.ru/doc/4052438> (дата обращения 12.12.2019)

⁴²⁰ Роснано" рассказала о будущем российской возобновляемой энергетики. URL <https://tass.ru/ekonomika/7341525> (дата обращения 15.12.2019)

⁴²¹ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL:<https://rawi.ru>(дата обращения 12.07.2019)

частности, представляется важным ввести широко применяющиеся странами БСМ «зеленые сертификаты» (Guarantees of Origin) для поддержки компаний, генерирующих, продающих и покупающих в РФ возобновляемую электроэнергию. Такой механизм квотирования генерации «зеленой» энергии должен обеспечить снижение субсидирования, подтверждение низкого углеродного следа для компаний, производящих продукцию на экспорт и создать условия привлечения к закупкам продукции ВИЭ различных крупных компаний, подобно тому, как это делается в рассмотренной нами инициативе «RE100». Также целесообразно на рынке России применять соглашения PPA (Power Purchase Agreements) между продавцом и покупателем на прямые поставки электроэнергии от ВИЭ, что позволяет зафиксировать на десятки лет низкую договорную цену экологически чистой энергии большой мощности. Примеры долговременных соглашений PPA были рассмотрены нами в разделе 2.2.

Важнейшей задачей экономики России может стать эффективное использование ВИЭ для энергоснабжения удаленных и изолированных регионов с населением 20 млн. человек. Более 70 % этих территорий не подключены к энергосистеме страны и там используется около 900 дизельных электростанций, стоимость доставки топлива для которых определяет высокие тарифы на электроэнергию (20 - 150 руб. / кВт-ч).⁴²² А в ряде районов Сибири, Крайнего Севера и Арктики они могут достигать до 200-300 руб./кВт-ч.⁴²³ Ежегодный завоз топлива в такие территории составляет около 4,5-5 млн. тонн нефтепродуктов и 2 млн. тонн угля⁴²⁴, а общее финансирование энергоснабжения достигает 150 млрд. руб./ год, из которых более 50 млрд. рублей уходит на топливо.⁴²⁵ На территории России расположено более 100 тысяч таких изолированных поселков и производств, где экономически гораздо более эффективно использовать ВИЭ,

⁴²² Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: Изд. 3-е, доп. – СПб.: Изд. Политех. Ун-та. 2016. - 424 с.; Энергоснабжение изолированных территорий. Аналитический центр при Правительстве РФ. Энергетический бюллетень. 2017. - № 51. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14142.pdf> (дата обращения 14.09.2018)

⁴²³ Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: Изд. 3-е, доп. – СПб.: Изд. Политех. Ун-та. 2016. - 424 с.

⁴²⁴ Энергоснабжение изолированных территорий. Аналитический центр при Правительстве РФ. Энергетический бюллетень. 2017. - № 51. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14142.pdf> (дата обращения 14.09.2018)

⁴²⁵ Энергоснабжение удаленных и изолированных территорий: НПА, решения. URL: <http://www.altren.ru/ru/activities/energосnabzhenie-udalennyix-i-izolirovannyix-terri.html> (дата обращения 18.09.2018)

чем централизованное энергоснабжение.⁴²⁶ В ближайшей перспективе к ним добавятся ещё различные населенные объекты инфраструктуры Северного морского пути, Минприроды РФ и других ведомств. Значительное снижение этих затрат может обеспечить широкое внедрение в таких регионах автономных гибридных энергетических систем (АГЭС), включающих в себя различные виды ВИЭ, накопители и резервные дизель - генераторы. Примером может служить территория Аляски, где за счет подобных программ экономия на топливе составляет ежегодно около \$46,5 млн.⁴²⁷ В то же время, суммарный потенциал только малых поселений изолированных территорий РФ составляет около 500 МВт.⁴²⁸

Ещё одним перспективным направлением для повышения эффективности процессов замещения и развития ВИЭ на территории всей России, могла бы стать микрогенерация для частных домов, сельских и дачных поселков, ферм и небольших производств⁴²⁹, что способствовало бы широкому вовлечению населения в «зеленую» энергетику и созданию нового направления экономики малого и среднего бизнеса по производству и эксплуатации СЭС, ВЭУ, АГЭС и т.п. Основой развития розничного рынка ВИЭ в России является требование Ф3 «Об электроэнергетике» и Постановление Правительства РФ №47 (2015 г.), предписывающие сетевым операторам компенсировать потери в сетях за счет приобретения электроэнергии от ВИЭ на конкурсной основе. Но этот механизм почти не работает, хотя суммарный потенциал рынка составляет в настоящее время более 3 ГВт,⁴³⁰ а в перспективе 2035 года уже 10 ГВт.⁴³¹ В 2020 году возможно утверждение Правительством РФ поправок к законопроекту о

⁴²⁶Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL:<https://rawi.ru>(дата обращения 12.07.2019)

⁴²⁷ Энергоснабжение изолированных территорий. Аналитический центр при Правительстве РФ.Энергетический бюллетень.2017. - № 51. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14142.pdf> (дата обращения 14.09.2018)

⁴²⁸ Официальный сайт НП "Ассоциация предприятий солнечной энергетики". URL:<http://pvruussia.ru> /(дата обращения 11.08.2019)

⁴²⁹Микрогенерация на основе ВИЭ.Аналитический центр при Правительстве РФ// Энергетический бюллетень .- 2017.-№ 49. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf> (дата обращения 16.09.2018)

⁴³⁰ Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития// Ассоциацией развития возобновляемой энергетики. URL: www/treda.ru (датаобращения 11.07.2019)

⁴³¹ Роснано" рассказала о будущем российской возобновляемой энергетики.URL<https://tass.ru/ekonomika/7341525> (дата обращения 15.12.2019)

поддержке микрогенерации мощностью менее 15 кВт, что позволит совокупному рынку розницы и изолированных энергосистем ВИЭ достигнуть к 2035 году объема в 700 млрд. рублей.⁴³² При этом, использование различных льгот и инструментов поддержки должно привести к снижению как стоимости электроэнергии для населения, так и к её потребления из сети, для чего целесообразно использование рассмотренного нами большого опыта стран БСМ, особенно Германии, по развитию сетей просьюмеров и энергетических кооперативов. цифровизации энергетики, внедрению микро-сетей (Smart micro grid) и умных счетчиков (ВМТ).

Разработанные нами подходы оценок развития технологий морской ветроэнергетики и полученные результаты, могут быть использованы и для России. В отличие от стран БСМ, являющихся ведущими странами мира по росту рынка ветровой энергетики, глобальный оборот которого в настоящее время достиг 50 млрд. евро в год, формирование рынка ВЭУ в России началось только в 2013 году, но благодаря ДПМ ВИЭ и трансферу технологий ведущих зарубежных компаний к 2025 году должно быть введено уже около 3,6 ГВт.⁴³³ Так, корпорация «Роснано» совместно с финской компанией «Fortum» основали инвестиционный фонд, получивший право на реализацию к 2022 году ветровых проектов мощностью около 1,0 ГВт. Компания «Нова Винд» (учредитель ГК «Росатом») и голландская компания «Lagerwey» привлекли около 1,0 млрд. евро инвестиций для создания парков ВЭУ в разных регионах России мощностью более 1,1 ГВт. Итальянская компания «Enel» и немецкая «Siemens Gamesa» внедряют проекты ВЭУ общей мощностью 400 МВт с инвестициями около 405 млн. евро.⁴³⁴ В России самый большой в мире потенциал ветровой энергии и практически во всех регионах страны возможно развитие ветровой энергетики, в

⁴³² Роснано" рассказала о будущем российской возобновляемой энергетики. URL <https://tass.ru/ekonomika/7341525> (дата обращения 15.12.2019)

⁴³³ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL: <https://rawi.ru> (дата обращения 12.07.2019)

⁴³⁴ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL: <https://rawi.ru> (дата обращения 12.07.2019)

первую очередь в изолированных и удаленных территориях.⁴³⁵ Но наибольшие ветровые ресурсы в РФ сосредоточены на Арктическом и восточном побережье страны с прилегающими морскими акваториями и островами, где стоимость электроэнергии самая высокая в мире.⁴³⁶ В таких районах России перспективно создание шельфовых ВЭУ на плавучих или льдоустойчивых платформах, которые могут стать конкурентоспособными относительно аналогов на суше. Морские ВЭУ могут быть востребованы в России для экологически чистого энергообеспечения морской нефтегазовой индустрии, инфраструктуры Северного Морского пути, различных производств и т.п. Возможно также размещения морских ВЭУ у побережья Крыма, Балтийского, Чёрного и Каспийского морей. Но самые значительные перспективы могут быть у экспорта российских морских ВЭУ.

Весной 2019 года Всемирным банком была опубликована программа поддержки ускоренному росту морской ветроэнергетики в прибрежных и развивающихся странах для замещения традиционной энергетики.⁴³⁷ Установленная мощность глобальных оффшорных ВЭУ уже достигла 23 ГВт, из которых 80% приходится на страны БСМ, а ежегодные инвестиции в них достигли \$26 млрд. Ожидается, что до 2030 года в мировой сектор оффшорных ВЭУ будет инвестировано около \$500 млрд. Новая программа ВБ открывает для лидеров морских ВЭУ (стран БСМ, США и Китая) широкие перспективы экспорта на рынки государств с большими ветровыми ресурсами, таких, как Бразилия, Турция, Марокко, Индонезия, Индия, Филиппины, государства Южной Африки, Шри-Ланка, Вьетнам и т.д., а также многочисленных островных сообществ. Суммарный перспективный потенциал таких акваторий оценивается

⁴³⁵ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). URL:<https://rawi.ru> (дата обращения 12.07.2019)

⁴³⁶ Попель О.С., Фортвов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире: монография. - М.: ИД МЭИ. 2015.- 449 с.; Энергоснабжение изолированных территорий. Аналитический центр при Правительстве РФ. Энергетический бюллетень.2017. - № 51. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14142.pdf> (дата обращения 14.09.2018)

⁴³⁷ Going global.Expanding Offshore Wind to Emerging Markets/The World Bank. URL:<http://documents.worldbank.org/curated/en/716891572457609829/pdf/Going-Global-Expanding-Offshore-Wind-To-Emerging-Markets.pdf> (дата обращения 12.08.2019)

Всемирным банком примерно в 3,1 ТВт, из которых 2,1 ТВт относятся к плавучим ВЭУ.

В конце 2019 года Еврокомиссия утвердила новую программу «Green Deal», направленную на сокращение выбросов парниковых газов до 55% к 2030 году и к 2050 году до нуля, согласно которой государства ЕС должны будут приоритетно развивать оффшорную ветроэнергетику, как ведущую технологию устойчивой энергетической трансформации.⁴³⁸ Агрессивную экспортную программу морских ВЭУ объявила в 2019 году крупнейшая нефтегазовая компания «Equinor» (бывшая «Statoil»),⁴³⁹ которая оценивает доступный глобальный рынок оффшорных ВЭУ к 2030 году в 220 ГВт, а при ежегодных инвестициях в \$70 млрд. к 2040 году уже в 580 ГВт. Компания «Equino» уже сделала заявки для развертывания своих проектов морских ВЭУ у Восточного побережья США (3,2.ГВт), в Северном (4,4 ГВт) и в Балтийском морях (2,9 ГВт). Особое значение «Equinor» придает экспорту новейших технологий плавучих ВЭУ, где рассчитывает стать мировым лидером и планирует захватить 20% глобального рынка оффшорной ветроэнергетики, что соответствует около 11,6 млрд. евро. Интересно отметить, что намеренный «Equinor» к внедрению в 2022 году проект «Huwind Tampen» мощностью 88 МВт, состоящий из одиннадцати плавучих ВЭУ, станет первым в мире для электроснабжения размещенных рядом морских нефтегазовых платформ и позволит предотвратить около 200 тыс. тонн выбросов CO₂ в год.

Плавучие ВЭУ имеют большие перспективы стать стержнем и отечественной экспортной программы, соответствующей требованиям Правительства РФ к развитию возобновляемой энергетики.⁴⁴⁰ Основные элементы плавучих ВЭУ относительно дешево транспортировать по воде в разные страны мира, для них

⁴³⁸ EU Commission proposes 50-55% emissions cut by 2030 in Green Deal. URL: <https://www.rechargenews.com/transition/eu-commission-proposes-50-55-emissions-cut-by-2030-in-green-deal/2-1-722451> (дата обращения 10.12.19); [The European Green Deal](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf). URL: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf (дата обращения 19.12.19)

⁴³⁹ Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ). Оффшорная ветроэнергетика – глобальные изменения и локальные факторы поддержки /вебинар Equinor. URL: <https://rawi.ru> (дата обращения 16.12.19)

⁴⁴⁰ Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития// Ассоциацией развития возобновляемой энергетики. URL: www/rreda.ru (дата обращения 11.07.2019)

не нужен поиск подходящих по стоимостным, экологическим и социальным критериям участков земли, их достаточно просто устанавливать на шельфе и в открытом море, они имеют высокий КИУМ и большие возможности для снижения CAPEX, OPEX и LCOE. Кроме того, важными элементами таких установок являются плавучие основания, для создания которых Россия располагает мощной судостроительной промышленностью. Однако, по нашему мнению, развитие конкурентоспособного экспортного потенциала ВИЭ, недостаточно выполнять только на базе трансфера зарубежных технологий, а с этой целью необходимо, следуя теории кривых обучения и опыту стран БСМ в области R&D,⁴⁴¹ активно проводить собственные НИОКР и внедрять инновационные технологии. Перспективы развития как внутреннего, так и экспортного рынка ВИЭ в России значительно зависят от расширения его масштаба. Текущими планами ветроэнергетики РФ намечен ежегодный ввод около 500 МВт до 2035 года, но для достижения экономического эффекта конкурентоспособности отечественных ВЭУ на глобальном рынке, этот объем требуется увеличить в несколько раз.⁴⁴²

Следует отметить, что для увеличения масштабов рынка возобновляемой энергетики России и, особенно, его экспортной доли, требуются различные платиноиды, редкие и редкоземельные металлы (РЗМ). Мировыми лидерами-производителями РЗМ в 2019 году являлись Китай (71%), Австралия (11,83%), и США (8,88%). Россия по объемам производства существенно отстает от них с долей 1,54%, хотя располагает значительными запасам РЗМ и занимает четвертое место в мире с долей 10,33%, после Китая (37,9%), Бразилии и Вьетнама (по 18,94%).⁴⁴³ В то же время, например, лидерство в производстве гадолиний, неодима, диспрозия и других РЗМ позволило Китаю стать монополистом на рынке постоянных магнитов, незаменимых при создании ветровых генераторов.

⁴⁴¹ EU R&D funding for Low Carbon Energy Technologies. Analysis of the distribution of 2007-2013 commitments. URL: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99158/commitmentanalysis2007-2013bnl09122015.pdf> (дата обращения 11.07.2018)

⁴⁴² "Роснано" рассказала о будущем российской возобновляемой энергетики. URL: <https://tass.ru/ekonomika/7341525> (дата обращения 15.12.2019)

⁴⁴³ Описание и исследования рынка редкоземельных металлов. URL: http://www.metalresearch.ru/rare_earth_2019.html

Российскими экономистами, во главе с В.А. Крюковым, неоднократно обращалось внимание на необходимость создания отечественной индустрии редких металлов и РЗМ полного цикла, способной обеспечить собственной ресурсной базой производство различной высокотехнологичной продукции, в том числе и в возобновляемой энергетике.⁴⁴⁴ Собственное производство технологичных металлов позволит значительно повысить уровень локализации, снизить CAPEX и LCOE отечественных ВИЭ на внутреннем рынке и обеспечить их экспортную конкурентоспособность. Особенно, в связи с рассмотренной нами вероятностью значительного роста глобальной добычи природных ресурсов при увеличении масштабов внедрения ВИЭ, как в странах ЕС, так и во всем мире.

Выводы по третьей главе:

1. В последние годы в мировой экономике, в первую очередь в странах БСМ, для справедливых оценок эффективности процессов замещения стали использоваться многофакторные эконометрические модели, типа ЕЗМЕ, в которых главными факторами - индикаторами являются: ВВП, благосостояние, занятость и международная торговля. Выполненный нами анализ исследований Агентства IRENA на подобной модели подтвердил значительный рост этих показателей при расширении внедрения технологий ВИЭ. Для упрощенных оценок экономической эффективности процессов замещения в странах БСМ нами разработан новый подход, базирующийся на исследованиях основных факторов: энергетической безопасности (IS), эффективности внедрения технологий ВИЭ в разные сектора экономики (IE) и рациональности результатов этих процессов (IR), рассматриваемых на фоне анализа процесса замещения в стране (регионе) за определенный период.

2. С целью апробации предлагаемого подхода была выбрана Германия - лидер энергетического перехода в странах БСМ и в мировой экономике. Около 70 % потребляемой энергии этой страны обеспечивается за счет импорта ископаемых

⁴⁴⁴ Крюков В.А., Толстов, А.В., Самсонов Н.Ю. Стратегическое значение редкоземельных металлов в мире и в России // ЭКО. – 2012. – № 11. – С. 5-16.; Крюков В.А., Зубкова С.А. Реиндустриализация без своих РЗМ? // ЭКО. – 2016. – № 8. – С. 5-24.

ресурсов. Задача снижения энергетической зависимости в Германии вызвала быстрый рост производства электроэнергии от ВИЭ (до 41,5% в 2018 году). Результат апробации показал экстенсивный характер процессов замещения традиционной энергетики на ВИЭ в Германии на 2016 год , что означает не достижение на тот год повышения энергетической безопасности страны. Очевидно, что для достижения новой цели Германии – увеличения до 65% доли потребления электроэнергии от ВИЭ к 2030 году понадобятся значительные усилия и средства на модернизацию существующих сетей для интеграции переменчивых ВИЭ и снижения доплат населения за «зеленую» энергию. Предлагаемый нами подход может быть использован для упрощенных оценок экономической эффективности энергетической трансформации в отдельных странах (регионах), в том числе и в России.

3. С целью электрификации экономики в странах БСМ на первое место выходят ветровые технологии и , особенно, оффшорные и плавучие ВЭУ, которые достигнув зрелости могут оказать существенное влияние на процессы замещения. Оценки динамики роста развивающихся морских ВЭУ обычными методами выполнить затруднительно из-за недостатка данных, но может быть использован разработанный нами эконометрический подход на базе математического аппарата кривых обучения. При этом, наиболее точные оценки можно получить используя систему двух уравнений на основе трех временных рядов данных о внедренных в разные годы реальных проектов: кумулятивной мощности ВЭУ , себестоимости генерируемой энергии LCOE и совокупных вложения в НИОКР. Полученные в результате однофакторные или двухфакторные кривые обучения позволяют перейти к интерполяции их динамики для анализа процессов замещения.

4. Апробация эконометрического подхода была выполнена на примере оценки динамики роста морских технологий ВЭУ Германии по 2017 год. Анализ динамики инвестиций для ряда реальных таких проектов позволили оценить издержки LCOE и кривые обучения, а также рассчитать тренд LCOE оффшорных ВЭУ стран БСМ до 2030 года, что необходимо для исследований роста ресурсов

новых ВИЭ. Модификация исходной модели «Times model» заключалась в упрощении общего алгоритма оценок, в первую очередь, в части определения величин ОРЕХ. Предложенный нами подход не является статистическим исследованием, а представляет собой интервальную модель с включением эконометрических инструментов и может быть использован для оценок динамики процессов замещения традиционной энергетики развивающимися технологиями ВИЭ в различных странах мира, в том числе и в России.

5. Новые технологии ВИЭ ещё не имеют достаточного объема данных для существующих методов энергетических прогнозов. Нами предложен эконометрический подход оценки роста ресурсов таких ВИЭ, выполняемый по следующему алгоритму: оценки тренда LCOE и производственной функции Кобба-Дугласа (зависимость генерации от кумулятивной мощности), оценка кривой обучения и результирующие прогнозные оценки динамики суммарной установленной мощности и выработки энергии исследуемой технологии ВИЭ. С целью апробации подхода были выполнены прогнозные оценки до 2030 года роста ресурсов плавучих ВЭУ во Франции и Великобритании, а также оффшорных ВЭУ Бельгии, Дании и Нидерландов, показавшие его эффективность для прогнозирования динамики замещения традиционной энергетики новыми технологиями ВИЭ в различных странах мира, включая Россию. Имитационный прогноз развития плавучих ВЭУ для стран БСМ с учетом динамики расходов на НИОКР в сравнении его с прогнозными оценками, выполненными без учета таких издержек, подтвердил правомерность теоретического обоснования о влиянии фактора инвестиций в НИОКР на точность результатов прогнозирования.

6. Темпы развития морских ВЭУ в странах БСМ возрастают с каждым годом, и до 2027 года в Европе будет добавлено ещё более 65 ГВт, что совпадает с выполненными нами прогнозными оценками. В настоящее время уже проектируются гигантские морские ВЭУ мощностью 12 МВт и высотой до 260 м, у которых КИУМ может превысить 60%, что также окажет влияние на снижение издержек. Многие крупные нефтегазовые компании, такие как

«Equinor» (бывшая «Statoil»), Ørsted (бывшая DONG) и другие, уже активно работают в секторе оффшорных ВЭУ. Именно на акваториях стран БСМ в последние годы исследуются технологии успешной синергии зрелого морского нефтегазового сектора и новейших направлений морских ВИЭ. Стремительное развитие морских ВЭУ в странах БСМ по масштабам воздействия на мировую экономику может стать сравнимо с бумом морской нефтегазовой индустрии, наблюдавшемся в этих же странах во второй половине прошлого века.

7. По нашим макроэкономическим оценкам на 2030 год все ветровые технологии в странах БСМ должны обеспечить 533 ТВт-ч производства электроэнергии, рост занятости до 358,5 тысяч мест, привлечение 150,6 млрд. евро инвестиций, сокращение выбросов CO₂ до 240,7 млн. тонн и снижение импорта углеводородов в эти страны на 8,3 млрд. евро. За счет замещения импорта ископаемых ресурсов собственным производством электроэнергии всеми видами ВИЭ в странах БСМ, доход России от экспорта в 2030 году может сократиться на 33.2% относительно 2015 года.

8. Уникальные условия ДПМ ВИЭ, особенно по локализации, позволили привлечь ведущие зарубежные компании, в том числе и из стран БСМ, и с их помощью обеспечить трансфер новых технологий для развития оптового рынка ВИЭ в России, суммарной мощностью 5,4 ГВт до 2025 года, и создать практически с нуля производственные мощности. Так, только объем оптового рынка ВЭУ к 2025 году должен достигнуть 750 млрд. руб., обеспечить около 250 млрд. руб. инвестиций в сектор энергомашиностроения и прибавку в ВВП до 0,5% в год. Предполагаемый объем инвестиций (659,3 млрд.руб). на период 2025–2030 годы позволит ввести более 24 ГВт новых мощностей ВИЭ. Дальнейший рост уровня локализации и экспорта отечественного оборудования требует использования дополнительно к ДПМ новых эффективных инструментов поддержки. На основании исследования опыта стран БСМ, выполненного в настоящей работе, в заключении приводятся авторские рекомендации по повышению эффективности развития рынка ВИЭ в России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе было выполнено научно - обоснованное исследование особенностей процесса замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками в странах бассейна Северного моря, лидерах энергетической трансформации мировой экономики - Бельгии, Германии, Великобритании, Франции, Дании и Нидерландах.

В ходе исследования были решены следующие основные задачи:

- * проведен системный анализ эволюции энергетического сектора мировой экономики с позиций ведущей роли ВИЭ в процессах накопления ресурсов , интеграции и трансформации при переходе к новой технологической энергетике на примере стран БСМ;

- * выполнена систематизация и анализ факторов , влияющих на процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в мировой экономике на примере стран БСМ ;

- * разработаны теоретические и практические аспекты аналитического факторного подхода к оценке динамики процесса энергетической трансформации в странах мира с апробацией на примере Германии;

- * разработаны теоретические и практические аспекты эконометрического подхода к оценке динамики развития новых технологий ВИЭ в странах мира на основе аппарата кривых обучения с апробацией на примере морских ВЭУ Германии;

- * разработаны теоретические и практические аспекты эконометрического подхода к прогнозным оценкам динамики развития новых технологий ВИЭ в странах мира на основе аппарата кривых обучения с апробацией подхода на примере новых технологий морских ВЭУ стран БСМ

В рамках решения основных задач был также проведен анализ состояния рынка ВИЭ России и перспективы повышения эффективности его развития с учетом опыта стран БСМ. По полученным научным результатам в конце каждой главы работы приведены подробные выводы.

Как показало выполненное исследование, главной особенностью процессов замещения в странах БСМ стало то, что малозначимые на начальном этапе для локальных экономик политические и экономические решения в области альтернативной энергетики этих стран практически только за два десятилетия привели к началу глобальной энергетической трансформации, поставившей всю мировую экономику перед вызовом необходимости радикальных действий и кардинальных изменений в ближайшие годы. Это стало возможным благодаря последовательной целенаправленной энергетической политике ЕС (стран БСМ), базирующейся на «триаде» энергобезопасности, энергоэффективности и климатической политики, объединенных парадигмой устойчивого развития экономики и общества. Дополнительное ускорение динамике процессов замещения в странах БСМ и мира обеспечила синергия структурированных в настоящей работе различных экономических, политических, климатических, социальных, энергетических и других факторов влияния второго порядка.

Исследования подтвердили научную гипотезу, что рост возобновляемых ресурсов определяется цивилизационным технологическим развитием и уже не зависит только от волатильности цен на углеводороды или прогнозов истощения ископаемого сырья. Новая парадигма энергобезопасности стран мира определяется уже не столько имеющимися или импортируемыми объемами ископаемых ресурсов, сколько наличием собственных технологических прорывов в возобновляемом и традиционном энергетических секторах экономики.

Важной особенностью процесса замещения как в странах БСМ, так и во всем мире стал выявленный в настоящем исследовании тренд перераспределения финансовых потоков от традиционной энергетике к возобновляемым источникам. Глобальные инвестиции в ВИЭ уже значительно превышают инвестиции в проекты традиционную энергетику. В последние годы лидерство по инвестициям в «зеленую» энергетику перешло уже от ЕС (стран БСМ) к Китаю. Наблюдается продолжение субсидирования традиционной энергетики странами БСМ, что противоречит принятой ими климатической политике.

Стремительное снижение LCOE различных видов ВИЭ в странах БСМ определяет их экономическую выгоду внедрения по сравнению с электростанциями на ископаемом топливе. Этому способствует инновационная международная кооперация при взаимодействии государства, науки и бизнеса. Ожидается, что в странах БСМ уже рыночная экономика, а не государственная поддержка, станет драйвером дальнейшего развития возобновляемой энергетики.

Автором работы выявлен, что наибольшим препятствием расширению внедрения ВИЭ в глобальном масштабе может стать проблема с необходимостью для этого добычи и переработки огромных объемов различных ископаемых ресурсов, включая редкие металлы. Этот барьер, наряду с экологической неопределенностью с биоэнергетикой, а также утилизацией элементов ВИЭ с накопителями, требует справедливых оценок, которые должны быть учтены в оптимистических моделях сторонников 100% энергетического перехода на ВИЭ в мировой экономике.

Исследование показало, что по оценкам Ассоциаций IEA , Агенства IRENA, Wind Europe, Всемирного банка и других организаций, стремительное развитие морской ветроэнергетики в странах БСМ по масштабам воздействия на мировую экономику может стать сравнимо с бумом шельфовой нефтегазовой индустрии, наблюдавшимся в этих же странах во второй половине прошлого века. Важно, что проекты стран БСМ в этой области направлены не только на сетевую генерацию, но и на энергообеспечение локальных потребителей различных направлений синей мировой экономики - нефтегазовой индустрии, производства пресной воды, марикультуры и т.д.

По мнению автора, огромная территория с большими лесными массивами позволяет России выполнить свои климатические обязательства , связанных с ратификацией в 2019 году Парижского соглашения, без необходимости резкого увеличения масштаба рынка ВИЭ, как это происходит в странах БСМ. Особенно, если использовать для отечественной традиционной энергетики новые экологические технологии, типа улавливания и захоронения углерода (CCS). Эти обстоятельства и полное отсутствие энергозависимости позволяет России

оптимально сбалансировано интегрировать ВИЭ в свой развитый энергетический комплекс.

На основании проведенного исследования автор предлагает для развития ВИЭ в стране использовать лучшее из энергетической политики ЕС (стран БСМ) с её обширной нормативно-правовой базой. Дополнительно к ДПМ перспективно рассмотреть зарубежный опыт внедрения «зеленых сертификатов», соглашений РРА, инициатив типа «RE100» и других инструментов поддержки. По мнению автора внутренний рынок ВИЭ целесообразно увеличивать за счет приоритетных программ развития регионов, на удаленных и изолированных территориях, а также путем микрогенерации ВИЭ с широким привлечением населения (энергетические кооперативы, просьюмеры) и практики цифровизации (микросети, счетчики ВМТ). Чтобы оставаться в глобальном тренде энергетической трансформации необходимо развивать экспортные программы ВИЭ. С учетом возможностей судостроительной промышленности России, по мнению автора, драйвером развития внешнего рынка могут стать новые технологии плавучих ветровых ВЭУ. Это может быть важно и с геополитической точки зрения. Глобальный рынок плавучих ВЭУ еще только начинает развиваться, хотя Всемирный Банк, новое руководство Европейского Союза и ряд крупных нефтегазовых компаний уже имеют большой интерес к этому направлению. Однако, для конкурентоспособности экспорта ВИЭ, кроме трансферта зарубежных технологий, требуется активизация собственных НИОКР и инновационной деятельности, а также создание в стране индустрии редких металлов и редкоземельных материалов полного цикла.

На очередной конференции ООН по изменению климата COP25 (декабрь 2019 года, Мадрид) не удалось утвердить «книгу правил» Парижского соглашения и было намечено продолжить эту работу до конца 2020 года. Призыв к странам мира срочно взять на себя дополнительные обязательства по сокращению выбросов парниковых газов был отклонен многими из них, во главе с США, Австралией и Бразилией. Представители стран ЕС высказали неудовлетворение итогами конференции, показавшей, что мир окончательно

разделилась на два лагеря – сторонников срочной энергетической трансформации в интересах климатической политики и их противников, которые не верят в достоверность допустимого уровня глобального потепления. На этом фоне была озвучена новая программа ЕС, во главе со странами БСМ, под названием «European Green Deal» («Зеленая сделка»), направленная на сокращение выбросов парниковых газов до 55% вместо 40% к 2030 году и до нуля уже к 2050 году. Этот проект предполагает радикальное реформирование европейской экономики и должен стоить Евросоюзу ориентировочно 3,0 трлн. евро, из которых 1,0 трлн. евро предполагает до 2030 года выделить Европейская комиссия, а остальное планируют обеспечить сами страны ЕС и Европейский инвестиционный банк. Однако, совместно с решением ЕС отказа от атомной и угольной энергетики, такая программа потребует колоссальных усилий и средств, и, поэтому, выглядит достаточно проблематично. Новое руководство ЕС уже объявило, что его территория станет к 2050 году первой в мире климатически нейтральной и предложило распространить "зеленую сделку" на всю мировую экономику. Следует также отметить заявление ЕС (стран БСМ) на COP25 о намерениях сохранить лидерство в процессах глобальной энергетической трансформации мировой экономики.

Обобщая результаты выполненного исследования, можно утверждать, что страны бассейна Северного моря подготовили международному сообществу теоретическую, политическую и практическую платформу для дальнейшего ускорения процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии. Начало масштабной активизация энергетической трансформация в мировой экономике, связанной с климатической политикой, возможно уже в ближайшие годы и будет зависеть только от политической воли каждого государства мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Источники на русском языке

Нормативно-правовые и законодательные документы

1. Постановление Правительства РФ от 3 июня 2008 г. N 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии»
2. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-Р (Ред. от 19.07.2019) «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года»
3. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. N 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности»
4. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 24.09.2018 г. № 3788 «Об утверждении Порядка определения степени локализации в отношении генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии»

Книги и монографии

5. Безруких П.П. Ветроэнергетика: монография. - М.: ИД Энергия, 2010. - 320 с.
6. Боровский Ю.В. Современные проблемы мировой энергетики. - М.: ИД Навона. 2011.- 232 с.
7. Бушуев В.В., Филипов С.П. и др. Мировая энергетика: состояние, проблемы и перспективы. - М.: ИД Энергия. 2007. - 664 с.
8. Глазьев С.Ю. Возможные и вероятные сценарии долгосрочного развития России: цикл публичных лекций «Академики — студенчеству». - М.: ГУУ, 2006.- 25 с.
9. Глазьев С.Ю., Львов Д.С., Фетисов Г.Г. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования - М.: Наука. 1992. – 208 с.
10. Дакалов М.В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС: автореферат дис. ... канд. экон. наук:08.00.14. – Москва. 2015.- 204 с.
11. Да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы.- М.: ИД Интеллект. ИД МЭИ. 2010.- 704 с.
12. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: Изд. 3-е, доп.– СПб.: Изд. Политех. Ун-та. 2016. - 424 с.
13. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения.- М.: Экономика. 2002.- 767 с.
14. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. В.В. Бушуева (ИЭС), В.А. Каламанова (МЦУЭР). – М.: ИД Энергия. 2011.- 360 с.

15. Попель О.С., Фортов В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире: монография. - М.: ИД МЭИ. 2015.- 449 с.
16. Рифкин Д. Третья промышленная революция.: монография. - М.: Альпина Нон-фикшн . 2017. - 410 с
17. Фюкс Р. Зеленая революция: Экономический рост без ущерба для экологии: – М.: Альпина нон-фикшн, 2016.- 380 с.
18. Шафраник Ю.К., Крюков В.А. Нефтегазовый сектор России: трудный путь к многообразию. - М.: Перо. 2016. -272 с.
19. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо.2016.- 208 с.

Статьи из журналов и периодических изданий

20. Акаев А.А. Большие циклы конъюнктуры и инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера-Кондратьева // Экономическая наука современной России. - 2013. - №2(61). - С.7-29
21. Бушуев В.В. Новая энергетическая цивилизация: структурный образ возможного будущего // Энергетическая политика. - 2013.- №1. – С.14–23
22. Горлов А.А. Методика оценки динамики процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика.- 2016.- №3.- С.21-28
23. Горлов А.А. Использование кривых обучения для оценки динамики развития возобновляемых источников энергии // Энергетическая политика.- 2018.- №3.- С.62-75
24. Горлов А.А. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в странах бассейна Северного моря// Энергетическая политика. - 2015. - №4. - С.68-78
25. Горлов А.А. Экономика возобновляемой энергетики стран бассейна Северного моря // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014. - №5 - С.2-12
26. Ицковиц Г. Модель тройной спирали // Инновационная Россия. - 2011. - №4 - С.5-10
27. Каравайков В.М., Гаркушина С.В. Комплексная оценка эколого - экономической эффективности использования альтернативного моторного топлива в регионе //Региональная экономика: теория и практика. - 2009. -№. 3(96) – С.9-14
28. Конопляник А.А. Затишье перед бурей. Четыре фактора неопределенности на рынке нефти // Нефтегазовая вертикаль.-2016.- №15-16 - С.6-12
29. Конторович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Методология классификации запасов и ресурсов энергетического сырья // Регион: Экономика и Социология.- 2006. - № 3.- С. 57-59
30. Крюков В.А. , Горлов А.А., Прогнозирование процессов развития ветровой энергетики в бассейне Северного моря на базе кривых обучения // Проблемы прогнозирования. 2019.- №2. - С.93-103.
31. Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики // Энергия: техника, экология, экономика.- 2014.- № 4 (С.13-18), №5 (С.9-14), №6 (С.9-14)

Электронные ресурсы

32. Алексеева Н. Зелёная эра: как возобновляемые источники энергии конкурируют с углеводородами и АЭС [Электронный ресурс] / Сайт портала «RT новости». - Режим доступа: <https://russian.rt.com/science/article/445815-vozobnovliaemye-istochniki-energii>
33. Apple заявила, что полностью перешла на возобновляемую энергию по всему миру [Электронный ресурс] / Сайт портала «TJournal.Ru». - Режим доступа: <https://tjournal.ru/68873-apple-zayavila-chto-polnostyu-pereshla-na-vozobnovlyaemuuyu-energiyu-po-vsemu-miru>
34. Бельгия приняла программу отказа от атомной энергетики [Электронный ресурс] / сайт Live Journal. - Режим доступа: <https://tnenergy.livejournal.com/130699.html>
35. Билл Гейтс инвестирует в альтернативную энергию [Электронный ресурс]./ сайт Вести . Экономика.- Режим доступа: <https://www.vestifinance.ru/articles/78866>
36. Боровский Ю.В., Трачук К.В. Концептуальные и институциональные аспекты энергетической политики ЕС (1990-2014 гг.) [Электронный ресурс] / сайт МГИМО. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/kontseptualnye-i-institutsionalnye-aspekty-energeticheskoy-politiki-es-1990-2014-gg>
37. Васиков А.Р., Салихов Т.П., Гараев З.В. Упрощенная оценка уровня энергетической безопасности на базе широкодоступной информации [Электронный ресурс] / сайт Институт систем энергетики им. А.Л. Мелентьева.- Режим доступа: <http://isem.irk.ru/symp2010/papers/RUS/S6-12r.pdf>
38. В ближайшем будущем Германия планирует отказаться от угля [Электронный ресурс] / сайт журнал Habr. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/439470/>
39. В Германии открылся Всемирный климатический саммит ООН [Электронный ресурс]/ сайт Российская Газета. - Режим доступа:<https://rg.ru/2017/11/06/v-germanii-otkrylsia-vsemirnyj-klimaticheskij-sammit-oon.html> свободный
40. В Норвегии стали добывать меньше нефти. Газовые месторождения тоже постепенно исчерпываются [Электронный ресурс] /сайт информационного агентства Regnum. - Режим доступа:<https://regnum.ru/news/2182427.html>
41. Воздвиженская А. Луч света в углеводородном царстве [Электронный ресурс] /сайт Российская газета. - Режим доступа: <https://rg.ru/2016/11/22/v-mire-zafiksirovan-rekordnyj-prirost-moshchnostej-v-zelenoj-energetike.html>
42. Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2018 году[Электронный ресурс] / сайт журнала Der Welt. – Режим доступа : <https://www.dw.com/ru/возобновляемые-источники-выйдут-на-1-е-место-в-энергетике-фрг-в-2018-году/a-42081787>
43. Германия: сначала отказ от АЭС, затем участие общества в решении проблем РАО [Электронный ресурс] /сайт Экологического центра Bellona.- Режим доступа : <https://bellona.ru/2017/01/26/atom-germany>
44. Глазьев С.Ю. Возможности и ограничения технико-экономического развития России в условиях структурных изменений в мировой экономике [Электронный ресурс] /сайт С.П.Курдюмова.- Режим доступа :

<http://spkurdyumov.ru/economy/vozmozhnosti-i-ogranicheniya-texniko-ekonomicheskogo-razvitiya/6/>

45. Гоголадзе О. Германия утвердила правила запрета дизельных авто [Электронный ресурс] / сайт портала «Hightech plus». - Режим доступа : <https://hightech.plus/2018/05/23/germaniya-utverdila-pravila-zapreta-dizelnih-avto>
46. Гоголадзе О. Чем удивила возобновляемая энергетика в 2017 году. [Электронный ресурс] / сайт портала «Hightech plus». - Режим доступа : <https://hightech.fm/2018/01/07/renewable-energy-2017>
47. Годовая финансовая отчетность операторов немецкой сети передачи электроэнергии [Электронный ресурс] / сайт Informations plattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber/ .- Режим доступа : <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen>
48. Горлов А.А. Обоснование методического подхода к оценке динамики развития технологий оффшорной ветровой энергетике (на примере Германии) [Электронный ресурс] / сайт журнала МИР (Модернизация . Инновации. Развитие). 2018. Т. 9. № 1. С.50-63.- Режим доступа : DOI: 10.18184/2079–4665.2018.9.1.
49. Горлов А.А.А. Факторы влияния на процессы интеграции традиционной и возобновляемой энергетике в странах бассейна Северного моря [Электронный ресурс] / сайт XVIII Апрельская международная научная конференция НИУ-ВШЭ . - Режим доступа :https://events-files-bpm.hse.ru/files/_reports/389FE0BA-C945-4D3D-ADB4-9BC31F854A51/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%90.%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BB%D0%BE%D0%B2.pdf
50. Деденкулов А.В. Евросоюз :эволюция приоритетов энергетической политики [Электронный ресурс] / сайт Cyberleninka.- Режим доступа : DOI: <http://dx.doi.org/10.15211/soveurope12015116125>
51. Дешевая нефть может подорвать планы ЕС по использованию альтернативных видов энергии [Электронный ресурс] /сайт ТАСС.- Режим доступа : <http://tass.ru/ekonomika/1608912>
52. Дискуссия о климате. Российская наука — об изменении климата (глобальном потеплении) [Электронный ресурс] /сайт журнала RenEn.- Режим доступа : <http://renew.ru/russian-science-on-climate-change-global-warming/>
53. Дмитриенко И . Зарядись по полной [Электронный ресурс] /сайт журнала Профиль.- Режим доступа : <https://profile.ru/economics/item/124798-zaryadis-polnoj>
54. Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды развития «Наше общее будущее» [Электронный ресурс] /сайт Генеральной ассамблеи ООН.- Режим доступа : <http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>
55. Национальные планы действий в области энергоэффективности и годовые отчеты [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза.- Режим доступа :<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive/national-energy-efficiency-action-plans>

56. Евросоюз ратифицировал Парижское соглашение по климату [Электронный ресурс] / сайт портала «Научная Россия». - Режим доступа : <https://scientificrussia.ru/articles/evrosoyuz-ratifikiroval-parizhskoe-soglasenie-po-klimatu>
57. Ермоленко Г.В. и другие. Справочник по возобновляемой энергетике Европейского союза: аналитический обзор [Электронный ресурс] / сайт Институт энергетике НИУ ВШЭ. - Режим доступа : <https://publications.hse.ru/books/201698897>
58. Жарко, аж жуть! Почему прогноз погоды не радует [Электронный ресурс] / сайт издательства «Коммерсант». - Режим доступа : https://www.kommersant.ru/doc/3702727?from=doc_vrez
59. Есть ли будущее у угля ? [Электронный ресурс] / сайт РСМД. - Режим доступа: <http://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/est-li-budushchee-u-uglya>
60. Как ведущие страны собираются выполнять Парижское соглашение по климату [Электронный ресурс] / сайт РСМД. - Режим доступа: http://rusecounion.ru/klimat_24417
61. Крупнейший нефтяной фонд не будет инвестировать в нефтегазовую отрасль [Электронный ресурс] / сайт информационное агентство «Финансовый контроль» - Режим доступа: <http://fcinfo.ru/business/1560-krupneyshiy-neftyany-fond-ne-budet-investirovat-v-neftegozovuyu-otrasl.html>
62. Кужелева К.С., Грачев Б.А. Энергетическая политика ЕС в области энергоэффективности [Электронный ресурс] / сайт журнала «Энергосовет». - Режим доступа: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=694
63. Микрогенерация на основе ВИЭ . Энергетический бюллетень № 49 (2017 год) [Электронный ресурс] / сайт Аналитический центр при Правительстве РФ. - Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/13570.pdf>
64. Накопители энергии: итоги 2017 и краткосрочный прогноз [Электронный ресурс] / сайт портала «EcoNet». - Режим доступа: <https://econet.ru/articles/181666-nakopiteli-energii-itogi-2017-i-kratkosrochnyy-prognoz>
65. Нидерланды закроют все угольные электростанции в течении следующих 12 лет [Электронный ресурс] / сайт портала «Ecology.md». - Режим доступа: <http://ecology.md/page/niderlandy-zakroyut-vse-ugolnye-elektrostantsii-v-techenii-sledujushhih-12-let>
66. Окашин Р. На девяти улицах Лондона запретят бензиновые и дизельные автомобили [Электронный ресурс] / сайт портала «Hightech plus». - Режим доступа: <https://hightech.plus/2018/09/07/na-devyati-ulicah-londona-zapretyat-benzinovie-i-dizelnie-avtomobili>
67. О чем договорились на конференции по климату в Париже [Электронный ресурс] / сайт портала «AltEnergiya.Ru». - Режим доступа: <https://altenergiya.ru/novosti/o-chem-dogovorilis-na-konferencii-po-klimatu-v-parizhe.html>
68. Официальный сайт Всемирного банка [Электронный ресурс] / сайт Всемирного банка. - Режим доступа: <http://www.vsemirnyjbank.org>

69. Официальный сайт Российской Ассоциации Ветроиндустрии [Электронный ресурс] / сайт РАВИ. - Режим доступа: <https://rawi.ru>
70. Первая в мире плавучая ветростанция: эффективность работы превышает все прогнозы [Электронный ресурс] / сайт портала «In-Power.Ru». - Режим доступа: http://in-power.ru/news/Alternativnaya_energetika/35499-Pervaya-v-mire-plavuchaya-vetrostantsiya-effektiv.html
71. Подведены итоги климатической конференции в Бонне COP23. [Электронный ресурс] / сайт портала «WWF.RU». - Режим доступа: <https://wwf.ru/resources/news/klimat-i-energetika/podvedeny-itogi-cop-23>
72. Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. [Электронный ресурс] / сайт : Европейская экономическая комиссия ООН -Режим доступа: <http://www.energyefficiencycentre.org/-media/Sites/energyefficiencycentre/Publications>
73. По недописанным правилам [Электронный ресурс] / сайт портала «Bellona.Ru». - Режим доступа: <http://bellona.ru/2018/05/16/po-nedopisannym-pravilam>
74. Порьфирьев Б.Н. Новые тенденции развития мировой энергетики как вызовы перспективам интеграции России в глобальную экономику [Электронный ресурс] / сайт Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. - Режим доступа: <https://ecfor.ru/publication/novye-globalnye-tendentsii-razvitiya-energetiki/>
75. Преобразование нашего мира. Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс] / сайт Генеральной Ассамблеи ООН. - Режим доступа: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf
76. Проскурякова Л.Н., Ермоленко Г.В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. [Электронный ресурс] / сайт ВШЭ. - Режим доступа: https://issek.hse.ru/data/2017/04/04/1168471430/Renova_Energy.pdf
77. Рекорды Арктики: в Заполярье зафиксировано беспрецедентное потепление. Температура увеличилась более чем на 3 градуса [Электронный ресурс] / сайт издательства «Известия». - Режим доступа: <https://iz.ru/786293/aleksandra-rykova/rekordy-arktiki-v-zapoliare-zafiksirovano-bespretcedentnoe-poteplenie>
78. Российский экспорт рванул в Европу [Электронный ресурс] / сайт журнала «Эксперт». - Режим доступа: <http://expert.ru/expert/2017/21/rossijskij-eksport-rvanul-v-evropu/>
79. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития [Электронный ресурс] / сайт Ассоциация развития возобновляемой энергетики. - Режим доступа: <https://rreda.ru>
80. Сайт Международного Энергетического Агентства.Бельгия [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/Belgium>
81. Сайт Международного Энергетического Агентства. Дания [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/Denmark>
82. Сайт Международного Энергетического Агентства. Франция [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/France>

83. Сайт Международного Энергетического Агентства. Германия [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/Germany>
84. Сайт Международного Энергетического Агентства. Великобритания [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/United%20Kingdom>
85. Сайт Международного Энергетического Агентства. Нидерланды [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/The%20Netherlands>
86. Сайт Международного Энергетического Агентства. Норвегия [Электронный ресурс] / сайт IEA. - Режим доступа: <https://www.iea.org/countries/Norway>
87. Сидорович В. ВИЭ выработали 41,5% электроэнергии в ФРГ в первом полугодии 2018 года [Электронный ресурс] / сайт портала «Renen.Ru». - Режим доступа: <http://renen.ru/res-generated-41-5-of-electricity-in-germany-in-the-first-half-of-2018/>
88. Сидорович В. Генератор удивления: развитие ВИЭ в 2018 году [Электронный ресурс] / сайт портала «Plus-One.RBC.Ru». - Режим доступа: <http://plus-one.rbc.ru/blog/ecology/generator-udivleniya-razvitie-vie-v-2018-godu>
89. Сидорович В. Доклад МГЭИК: к 2050 году мир должен построить экономику с нулевыми выбросами [Электронный ресурс] / сайт портала «Renen.Ru». - Режим доступа: <http://renen.ru/ipcc-report-world-needs-to-build-net-zero-emissions-economy-by-2050/>
90. Сидорович В. Европейская электроэнергетика планирует стать углеродно-нейтральной задолго до 2050 г [Электронный ресурс] / сайт портала «Renen.Ru». - Режим доступа: <http://renen.ru/the-european-electricity-industry-is-planning-to-become-carbon-neutral-well-before-2050/>
91. Сидорович В. Крупнейший торговец нефтью создает фонд для инвестиций в ВИЭ [Электронный ресурс] / сайт портала «Renen.Ru». - Режим доступа: <http://renen.ru/the-largest-oil-trader-creates-a-fund-for-investment-in-renewables/>
92. Сидорович В. Работа энергосистемы, основанной на ВИЭ, в пасмурную и безветренную погоду [Электронный ресурс] / сайт портала «Renen.Ru». - Режим доступа: <http://renen.ru/the-work-of-a-renewable-energy-system-in-cloudy-and-windless-weather/>
93. Снижению выбросов парниковых газов ищут мотивацию. Международная климатическая политика приобретает новые экономические очертания [Электронный ресурс] / сайт издательства «Коммерсант». - Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/3473052>
94. Транспортное средство в сетку [Электронный ресурс] / сайт портала «HiSoUR». - Режим доступа: <https://hisour.com/ru/vehicle-to-grid-42636>
95. Уоррен Баффет вложит \$3,5 млрд в возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] / сайт портала «Forbes.Ru». - Режим доступа: <http://www.forbes.ru/milliardery/342101-uorren-baffet-vlozhit-35-mlrd-v-vozobnovlyaemye-istochniki-energii>

96. Участники саммита в Париже обсудили меры по борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] / сайт портала «РИА Новости». - Режим доступа: <https://ria.ru/world/20171213/1510790520.html>
97. Франция отказывается от атомной энергетики [Электронный ресурс] / сайт портала «DATA 24». - Режим доступа: <http://www.data24.co.il/archives/1382>
98. Экономический обзор Германии : рынок, производительность, инновации [Электронный ресурс] / сайт портала «Germany Trade & Invest». - Режим доступа: https://www.gtai.de/GTAI/Content/RU/Invest/_SharedDocs/Downloads/GTAI/Brochures/economic-overview-germany-russisch.pdf?v=4
99. Экспорт из России в Европу [Электронный ресурс] / сайт Европейский Информационный Консультационный Центр в России. - Режим доступа: <http://www.euroinfocenter.ru/set-eikc/poleznaya-informaciya/eksport-iz-rossii-v-evropu>
100. Энергетическая концепция Федерального правительства Германии [Электронный ресурс] / сайт Федеральное министерство экономики и энергетики Германии (BMWi). - Режим доступа: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html>
101. Энергетическое исследование 2016, 2015, 2014, 2013, 2012 [Электронный ресурс] / сайт Федеральный институт сырья (BGR) - Режим доступа: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/produkte_node.html?tab=Energiestudien
102. Энергоснабжение изолированных территорий . Энергетический бюллетень № 51 (2017 год) [Электронный ресурс] / сайт Аналитический центр при Правительстве РФ. - Режим доступа: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/14142.pdf>
103. Энергоснабжение удаленных и изолированных территорий : НПА, решения [Электронный ресурс] / сайт ООО «Альтрэн». - Режим доступа: <http://www.altren.ru/ru/activities/energосnabzhenie-udalennyix-i-izolirovannyix-terri.html>

Источники на английском и немецком языках

Нормативно-правовые и законодательные документы

104. A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy. Green Paper EC [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com2006_105_en.pdf
105. A 2030 framework for climate change and energy policies. Green Paper EC. [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:EN:PDF>
106. Decision 406/2009/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Effort of Member States to Reduce their Greenhouse Gas Emissions to Meet the Community's Greenhouse Gas Emission Reduction Commitments up to 2020 [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&from=EN>

107. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF>
108. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32010L0031>
109. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:315:FULL&from=EN>
110. Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung [Электронный ресурс] / сайт Федерального Правительства Германии. - Режим доступа: <https://archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46aface62600f6/energiekonzept-final-data.pdf?download=1>
111. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf
112. Energy roadmap 2050. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF>
113. Energy Security Strategy, European Commission [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/energy-security-strategy>
114. Erneuerbare – Energien – Gesetz [Электронный ресурс] / сайт Федерального Правительства Германии. - Режим доступа: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl100s0305.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl100s0305.pdf%27%5D_1554832189882
115. European Commission/Clean energy for all. The revised Renewable energy Directive [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/technical_memo_renewables.pdf
116. European Council, Presidency Conclusions. Council of the European Union [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/93135.pdf
117. Horizon 2020 – Work Programme 2014-2015. 18 General Annexes [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: http://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/h2020/common/1597678-part_18_general_annexes_incl_corr_en.pdf

118. National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2017 for the Federal Republic of Germany [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/de_neeap_2017_en.pdf
119. The Commission presents strategy for a climate neutral Europe by 2050 [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-6545_en.htm
120. Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development, United Nation [Электронный ресурс] / сайт ООН. - Режим доступа: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
121. Treaty of Lisbon. Amending the Treaty on European Union and the Treaty Establishing the European Community [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8d1c14fc-6be7-4d4e-8416-f28cfc7b3b60.0006.01/DOC_1&format=PDF
122. 2050 long-term strategy [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

Электронные ресурсы

123. Aengenheyster M., Feng Q. and all. The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance// Earth System Dynam.-2018. - №9.- PP.1085-1095 [Электронный ресурс] / сайт журнала ESD. - Режим доступа:<https://www.earth-syst-dynam.net/9/1085/2018/>
124. Andrew P. Capacity factor at Danish offshore wind farms [Электронный ресурс] / сайт портала Energy Numbers. - Режим доступа: <http://energynumbers.info/capacity-factors-at-danish-offshore-wind-farms>
124. Arrow K.J. The Economic Implications of Learning-By-Doing// Review of Economic Studies. – 1962.- Vol. 29,- PP. 155-173 [Электронный ресурс] / сайт портала Oxford University Press. - Режим доступа: http://faculty.msmc.edu/hossain/grad_bank_and_money_policy/the%20economic%20implications%20of%20learning%20by%20doing_arrow.pdf
125. As Subsidies Wane, Market Forces Drive the Growth of Renewables [Электронный ресурс] / сайт портала «Yale Enviroment 360». - Режим доступа: <https://e360.yale.edu/features/as-subsidies-wane-market-forces-drive-the-growth-of-renewables>
126. Ayre J. BNEF: Europe To Invest \$1 Trillion Into Renewables By 2030 [Электронный ресурс] / сайт портала «Clean Tecnica». - Режим доступа: <http://cleantechnica.com/2014/07/14/bnef-europe-invest-1-trillion-renewables-2030>
127. Biofuelshttps [Электронный ресурс] / сайт портала «Transport&Enviroment». - Режим доступа: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/biofuels>
128. BP Statistical Review of World Energy [Электронный ресурс] / сайт компании BP. - Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

129. Bringing Variable Renewable Energy Up to Scale. Options for Grid Integration Using Natural Gas and Energy Storage// ESMAP&The World Bank.-2015.- 87 p. [Электронный ресурс] / сайт The World Bank. - Режим доступа: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21629/ESMAP_Bringing%20Variable%20Renewable%20Energy%20Up%20to%20Scale_VRE_TR006-15.pdf
130. Ciriminna R. and all. New energy and weather services in the context of the energy transition [Электронный ресурс] / сайт журнала «Energy Technology». - Режим доступа: <https://doi.org/10.1002/ente.201700598>
132. Clean Energy Investment Trends [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. Режим доступа: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf>
133. Climate action facing stronger headwinds at COP22 [Электронный ресурс] / сайт портала «Euractiv». - Режим доступа: <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/climate-action-facing-stronger-headwinds-at-cop22>
134. Coalitions' renewables plans would overstrain German grid - agency head [Электронный ресурс] / сайт портала «Clean Energy Wire ». - Режим доступа: <https://www.cleanenergywire.org/news/efficiency-target-danger-report-concerns-about-future-grid/coalitions-renewables-plans-would-overstrain-german-grid-agency-head>
135. Commission proposes new rules for consumer centered clean energy transition [Электронный ресурс] / сайт портала «KCG partner». - Режим доступа: <https://www.kcgpartners.com/commission-proposes-new-rules-consumer-centered-clean-energy-transition>
136. Corporations Already Purchased Record Clean Energy Volumes in 2018, and It's Not an Anomaly [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/corporations-already-purchased-record-clean-energy-volumes-2018-not-anomal>
137. Corporations Purchased Record Amounts of Clean Power in 2017 [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/corporations-purchased-record-amounts-of-clean-power-in-2017>
138. Cory K. S. and all. Analysis of Wind Turbine Cost Reductions: The Role of Research and Development and Cumulative Production [Электронный ресурс] / сайт AWEA's WINDPOWER '99 Conference. - Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/1827/0a05a64a3544d655ba7032ce9a9c6f3750e0.pdf>
139. Couture T., Gagnon Y. An Analysis of Feed-In Tariff Remuneration Models: Implications for Renewable Energy Investment|| Energy Policy, - 2010.- Vol. 38.- No. 2.-PP.955-965 [Электронный ресурс] / сайт жургала «Energy Policy». - Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.047>
140. Cumulative Global EV Sales Hit 4 Million [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/cumulative-global-ev-sales-hit-4-million>

141. David L. and all..Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals //Nature Energy.- 2018.-vol. 3.-P.589–599 [Электронный ресурс] / сайт журнала « Nature Energy». - Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41560-018-0179-z>
142. Delucci M.,Jacobson M. Providing all global energy with wind, water, and solar power.Reliability, system and transmission costs, and policies// Energy Policy.- 2011.- N39 [Электронный ресурс] / сайт журнала «Energy Policy». - Режим доступа:<https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/DJEnPolicyPt2.pdf>
143. Demonstration of essential reliability services by a 300 MW solar photovoltaic power plant [Электронный ресурс] / сайт « National Renewable Energy Laboratory». - Режим доступа:<https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67799.pdf>
144. Design J. What beastly weather says about UK energy security [Электронный ресурс] / сайт портала « GTM». - Режим доступа: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-beastly-weather-says-about-uk-energy-security#gs.5i97aj>
145. Despite Paris Agreement, more ambitious EU emissions target unlikely [Электронный ресурс] / сайт портала «Euractiv». - Режим доступа: <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/despite-paris-agreement-more-ambitious-eu-emission-target-unlikely>
146. Digitalization &Energy [Электронный ресурс] / сайт Международного энергетического Агентства. - Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf>
147. Dockrill P. Ticking Time Bomb' of Heated Ocean Discovered Hidden Under The Arctic Fire in the hole [Электронный ресурс] / сайт портала « Science Alert».. - Режим доступа: <https://www.sciencealert.com/ticking-time-bomb-hidden-heated-ocean-water-under-arctic-canada-basin-chukchi-sea>
148. Dodd J. Additive manufacturing will be a ‘gamechanger [Электронный ресурс] / сайт портала « Wind Power Monthly ». - Режим доступа: <https://www.windpowermonthly.com/article/1421837/additive-manufacturing-will-gamechanger>
149. Driving Cost Reductions in Offshore Wind [Электронный ресурс] / сайт консорциума « LeanWind ». - Режим доступа: <http://www.leanwind.eu/wp-content/uploads/LEANWIND-final-publication.pdf>
150. EBRD puts decarbonisation at centre of new energy sector strategy [Электронный ресурс] / сайт Европейского Банка Реконструкции и Развития. - Режим доступа: <https://www.ebrd.com/news/2018/ebrd-puts-decarbonisation-at-centre-of-new-energy-sector-strategy.html>
151. E-Buses to Surge Even Faster Than EVs as Conventional Vehicles Fade [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/e-buses-surge-even-faster-evs-conventional-vehicles-fad>

152. EIP-SCC. The marketplace of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities [Электронный ресурс] / сайт партнерства « Smart Cities and Communities». - Режим доступа: <https://eu-smartcities.eu/page/about>
153. Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030 [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства IRENA. - Режим доступа: <http://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>
154. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2016 [Электронный ресурс] / сайт Агентства по окружающей среде ФРГ (Umweltbundesamt). - Режим доступа: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger>
155. Emissions Gap Report 2018 [Электронный ресурс] / сайт Программы ООН по окружающей среде (UNEP). - Режим доступа: http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26895/EGR2018_FullReport_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
156. Energiedaten: Gesamtausgabe [Электронный ресурс] / сайт Федерального министерства экономики и энергетики Германии (BMWi). - Режим доступа: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
157. Energiewende beschleunigen – Ausbau der Offshore Windenergie läuft bis 2020 nach Plan [Электронный ресурс] / сайт Федеральной ветроэнергетической ассоциации Германии (BWE). - Режим доступа: <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2018/energiewendebeschleunigen-ausbau-der-offshore-windenergie-laeuft-bis>
158. Energy datasheets: EU28 countries [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xls
159. Energy Outlook 2015. 100% Renewable Energy for All [Электронный ресурс] / сайт немецкого портала Greenpeace - Режим доступа: https://www.duesseldorf.greenpeace.de/sites/www.duesseldorf.greenpeace.de/files/greenpeace_energy-revolution_erneuerbare_2050_20150921.pdf
160. Energy Storage is a \$620 Billion Investment Opportunity to 2040 [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/energy-storage-620-billion-investment-opportunity-2040>
161. Energy Transition Outlook 2018. A global and regional forecast to 2050 [Электронный ресурс] / сайт компании DNV GL. - Режим доступа: <https://eto.dnvgl.com/2018>
162. Erneuerbare Energien in Deutschland Daten zur Entwicklung im Jahr 2016 [Электронный ресурс] / сайт Агентства по окружающей среде ФРГ (Umweltbundesamt) - Режим доступа : https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/wedien/376/publikationen/erneuerbare_energien_in_deutschland_daten_zur_entwicklung_im_jahr_2016.pdf
163. EU ends target for food-based biofuels and phases out palm oil in cars only in 2030 [Электронный ресурс] / сайт портала «Transport&Environment». - Режим

- доступа: <https://www.transportenvironment.org/press/eu-ends-target-food-based-biofuels-and-phases-out-palm-oil-cars-only-2030>
164. EU R&D funding for Low Carbon Energy Technologies. Analysis of the distribution of 2007-2013 commitments [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99158/commitmentanalysis2007-2013bnl09122015.pdf>
165. Europe adds 6.1 GW of wind energy capacity in first half of 2017 [Электронный ресурс] / сайт Ассоциации WindEurope . - Режим доступа: <https://windeurope.org/newsroom/europe-adds-6-1-gw-wind-energy-capacity-first-half-2017/>
166. Europe is building more wind and solar — without any subsidies [Электронный ресурс] / сайт портала Vox . - Режим доступа: <https://www.vox.com/2018/5/30/17408602/solar-wind-energy-renewable-subsidy-europe>
167. Eurostat. Energy dependence [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&rcode=t2020_rd320&plugin=1
168. Eurostat. Energy production and imports [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports#Energy_security
169. Expenditure on Germany's renewable energy support hits record high [Электронный ресурс] / сайт портала «Clean Energy Wire ». - Режим доступа: <https://www.cleanenergywire.org/news/north-sea-wind-power-47-record-renewables-support-expenses/expenditure-germanys-renewable-energy-support-hits-record-high>
170. Experience Curves for Energy Technology Policy [Электронный ресурс] / сайт портала «Wenenergy ». - Режим доступа: <http://www.wenergy.se/pdf/curve2000.pdf>
171. E3ME: Our Global Macro-econometric Model [Электронный ресурс] / сайт портала «Cambridge Econometrics». - Режим доступа : <https://www.camecon.com/how/e3me-model>
172. Financing the Future of Energy [Электронный ресурс] / сайт National Bank of Abu Dhabi. - Режим доступа : https://www.mesia.com/wp-content/uploads/2017/09/FOE_Full_Report.pdf
173. Fixing Europe's clean fuels policy [Электронный ресурс] / сайт портала «Transport&Environment». - Режим доступа: <https://www.transportenvironment.org/publications/fixing-europe%E2%80%99s-clean-fuels-policy>
174. Flexibility Solutions for High Renewable Energy Systems [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/flexibility-solutions-high-renewable-energy-systems>
175. Floating Offshore Wind: Market and Technology Review [Электронный ресурс] / сайт компании Carbon Trust . - Режим доступа:

- <https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf>
176. Floating Offshore Wind Vision Statement [Электронный ресурс] / сайт компании WindEurope. - Режим доступа: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf>
177. Forecasting Wind Energy Costs and Cost Drivers [Электронный ресурс] / сайт портала Berkeley Lab. - Режим доступа: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1005717.pdf>
178. Fouqueta R. Lessons from energy history for climate policy [Электронный ресурс] / сайт London School of Economics. - Режим доступа: <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/09/Working-Paper-209-Fouquet.pdf>
179. Friends of the Earth Europe, Energy atlas [Электронный ресурс] / сайт портала European Renewable Energies Federation . - Режим доступа : https://www.foeeurope.org/sites/default/files/renewable_energy/2018/energy_atlas.pdf
180. Garfield L. Saudi Arabia is building a \$500 billion mega-city that's 33 times the size of New York City [Электронный ресурс] / сайт портала Business Insider . - Режим доступа : <https://www.businessinsider.com/saudi-arabia-mega-city-jordan-egypt-oil-2017-10>
181. Gasser T. and all. Path-dependent reductions in CO2 emission budgets caused by permafrost carbon release [Электронный ресурс] / сайт портала Research Gate . - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/327702407_Path-dependent_reductions_in_CO2_emission_budgets_caused_by_permafrost_carbon_re
182. Germany, Denmark and Belgium pledge fivefold increase to the world's offshore wind capacity in a decade [Электронный ресурс] / сайт портала Independent . - Режим доступа: <https://www.independent.co.uk/news/business/news/germany-denmark-and-belgium-pledge-to-fivefold-the-worlds-offshore-wind-capacity-in-a-decade-a7775681.html>
183. Germany paid people to use electricity over the holidays because its grid is so clean [Электронный ресурс] / сайт портала Independent . - Режим доступа: <https://www.independent.co.uk/environment/germany-power-grid-pays-customers-christmas-sustainability-renewable-energy-a8141431.html>
184. Getting Wind and Sun onto the Grid [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency . - Режим доступа: https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/Getting_Wind_and_Sun.pdf
187. Global Divest-Invest [Электронный ресурс] / сайт портала объединения Divest-Invest . - Режим доступа: <https://www.divestinvest.org>
188. Global EV Outlook 2017 [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency . - Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>
189. Global Green Growth: Clean Energy Industrial Investments and Expanding Job Opportunities [Электронный ресурс] / сайт ООН (UNIDO) . - Режим доступа:

[https://www.unido.org/sites/default/files/2015-](https://www.unido.org/sites/default/files/2015-05/GLOBAL_GREEN_GROWTH_REPORT_vol1_final_0.pdf)

[05/GLOBAL_GREEN_GROWTH_REPORT_vol1_final_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2015-05/GLOBAL_GREEN_GROWTH_REPORT_vol1_final_0.pdf)

190. Global innovation index [Электронный ресурс] / сайт портала Global Innovation Index . - Режим доступа: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator>

191. Global leader index [Электронный ресурс] / сайт Institute of Management Development . - Режим доступа: <https://global-leader-index.imd.org/>

192. Global Offshore Wind Farm Map [Электронный ресурс] / сайт портала 4C Offshore . - Режим доступа: <https://www.4coffshore.com/subscribers/dashboard/#>

193. Global renewable energy trends. Solar and Wind move from mainstream to preferred [Электронный ресурс] / сайт портала Our Energy Policy. - Режим доступа: https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2018/10/DI_global-renewable-energy-trends-2.pdf

194. Global Trends In Renewable Energy Investment 2018 [Электронный ресурс] / сайт Frankfurt School-UNEP Centre. - Режим доступа: http://www.iberglobal.com/files/2018/renewable_trends.pdf

195. Global warming of 1.5°C [Электронный ресурс] / сайт портала The Intergovernmental Panel on Climate Change (ООН). - Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/sr15/&/https://www.ipcc.ch/sr15/faq>

196. Global Wind Power Market Outlook , Q1 2018 [Электронный ресурс] / сайт компании Wood Mackenzie. - Режим доступа: <https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/Global-Wind-Power-Market-Outlook-Q1-2018/>

197. Global Wind Report 2017 [Электронный ресурс] / сайт портала Turkish Wind Energy Congress. - Режим доступа: http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/dunya_res_durumu/gwec_global_wind_report_april_2018.pdf

198. Herzog A., Lipman T., Kammen D. Renewable energy sources [Электронный ресурс] / сайт University of California, Berkeley . - Режим доступа: http://rael.berkeley.edu/old_drupal/sites/default/files/old-site-files/2001/Herzog-Lipman-Kammen-RenewableEnergy-2001.pdf

199. How modern bio-energy helps reduce global warming [Электронный ресурс] / сайт портала Economist . - Режим доступа : <https://www.economist.com/the-economist-explains/2018/10/12/how-modern-bio-energy-helps-reduce-global-warming>

200. Hutchins M. Oxford PV hits world record efficiency for perovskite/silicon tandem cell [Электронный ресурс] / сайт портала PV Magazine. - Режим доступа : <https://www.pv-magazine.com/2018/06/26/oxford-pv-hits-world-record-efficiency-for-perovskite-silicon-tandem-cell>

201. In Depth Techtalk : Floating wind-powered water injection [Электронный ресурс] / сайт портала Offshore Wind. Biz - Режим доступа : <http://www.offshorewind.biz/2016/11/25/in-depth-techtalk-floating-wind-powered-water-injection/>

202. International Community Pledges to Coal Phase Out by 2030 [Электронный ресурс] / сайт портала Offshore Wind. Biz - Режим доступа :

- <https://www.offshorewind.biz/2017/11/17/international-community-pledges-to-coal-phase-out-by-2030/>
203. International energy databases [Электронный ресурс] / сайт портала EnerData Intelligence & Consulting. - Режим доступа : <http://www.enerdata.net/enerdatauk/knowledge/subscriptions/database>
204. International Levelised Cost of Energy for Ocean Energy Technologies [Электронный ресурс] / сайт Ассоциации Ocean Energy Sweden. - Режим доступа : <https://testahemsidaz2.files.wordpress.com/2017/02/cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015.pdf>
205. Internet of Energy Model [Электронный ресурс] / сайт портала Neo Carbon Energy. - Режим доступа : <http://neocarbonenergy.fi/internetofenergy>
206. Jacobson M. and all. 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World// Joule.- 2017.-Vol. 1,- Iss. 1- PP. 108-121 [Электронный ресурс] / сайт журнала Joule. - Режим доступа : <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005>
207. Jamasb T., Kohler J. Learning curves for energy technology: a critical assessment [Электронный ресурс] / сайт портала Research Gate. - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/281127416_Learning_Curves_For_Energy_Technology_A_Critical_Assessment
208. Jamasb T. Technical change theory and learning curves: patterns of progress in electricity generation technologies //The Energy Journal. – 2007. – PP. 51-71 [Электронный ресурс] / сайт портала Semantic Scholar . - Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/6229/c8392148c9c8562d0cc34ba7650796d9ce2e.pdf>
209. Jewella J., Cherp A., Riahia K. Energy security under de-carbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy choices // Energy Policy. - 2014.- Vol. 65 - PP. 743–760 [Электронный ресурс] / сайт портала Ideas . - Режим доступа: <https://ideas.repec.org/a/eee/enepol/v65y2014icp743-760.html>
210. Johnstone N. and all. Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts // Environmental and Resource Economics.- 2010.- Vol. 45- Iss. 1- PP. 133–155 [Электронный ресурс] / сайт портала Research Gate. - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/225430825_Renewable_Energy_Policies_and_Technological_Innovation_Evidence_Based_on_Patent_Counts
211. Köhler, J. and all. The Transition to Endogenous Technical Change in Climate-Economy Models: A Technical Overview to the Innovation Modeling Comparison Project//The Energy Journal.- 2006.- PP. 17-55 [Электронный ресурс] / сайт портала Semantic Scholar. - Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/c463/155f32bc7e92f132f698e02ead3b28e5797b.pdf>
212. Kouvaritakis N., Soria A., Isoard S. Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptive expectations models with learning by doing and learning by searching //International Journal of Global Energy Issues.- 2004.-Т. 14.- №. 1-4.- PP. 104-115 [Электронный ресурс] / сайт портала Inderscience Online. -

- Режим доступа:
<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJGEI.2000.004384>
213. Krukov V.A. , Мое А. Does Russian unconventional oil have a future ?// Energy Policy.- 2018.- Vol. 119.-С.41-50 [Электронный ресурс] / сайт портала Science Direct .- Режим доступа:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518302374>
214. Land use change [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/land-use-change>
215. Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 11.0 [Электронный ресурс] / сайт инвестиционного банка Lazard . - Режим доступа:
<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf>
216. Lazard, Levelized cost of energy analysis—version 12.0 [Электронный ресурс] / сайт инвестиционного банка Lazard . - Режим доступа:
<https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf>
217. 15 Leading International Organizations Announce Joint Climate Neutrality Commitment At COP24 [Электронный ресурс] / сайт портала Clean Technica. - Режим доступа: <https://cleantechnica.com/2018/12/14/15-leading-international-organizations-announce-joint-climate-neutrality-commitment-at-cop24>
218. Lewis D. Energy positive: How Denmark’s Samsø island switched to zero carbon [Электронный ресурс] / сайт портала The Guardian. - Режим доступа:
<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/feb/24/energy-positive-how-denmarks-sams-island-switched-to-zero-carbon>
219. London considering car-free days in bid to tackle air pollution [Электронный ресурс] / сайт портала The Guardian. - Режим доступа:
<https://www.theguardian.com/environment/2018/may/15/london-considering-car-free-days-in-bid-to-tackle-air-pollution>
220. Lutz C., Breitschop B. Systematisierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und Verteilungswirkungen der Energiewende [Электронный ресурс] / сайт Федерального министерства экономики и энергетики Германии (BMWi). - Режим доступа: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/systematisierung-gesamtwirtschaftlichen-effekte-und-verteilungswirkungen-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=12
- 221 Meehl G. , Tebaldi C. More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century// Science.- 2004.- Vol. 305.- N. 5686.- PP. 994-997 [Электронный ресурс] / сайт журнала Science. - Режим доступа:
<http://science.sciencemag.org/content/305/5686/994.long>
222. Member States' Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment // European Commission. Economic and Financial Affairs [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа:
http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/occasional_paper/2013/pdf/ocp145_en.pdf

223. Modern bioenergy is critical to meeting global climate change goals [Электронный ресурс] / сайт портала Climate Home News. - Режим доступа: <http://www.climatechangenews.com/2018/10/11/modern-bioenergy-critical-meeting-global-climate-change-goals>
224. Moné Cr. and all. Cost of wind energy review [Электронный ресурс] / сайт National Renewable Energy Laboratory. - Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64281.pdf>
225. Nations must triple efforts to reach 2°C target, concludes annual review of global emissions, climate action [Электронный ресурс] / сайт ООН - Environment Programme (UNEP). - Режим доступа: <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/nations-must-triple-efforts-reach-2degc-target-concludes-annual>
226. New briefing reveals shocking scale of planned forest biomass industry growth [Электронный ресурс] / сайт портала Global Forest Coalition. - Режим доступа: <https://globalforestcoalition.org/biomass-threat-map/>
227. New Energy Outlook 2018 [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook>
228. New mercury threat to oceans from climate change [Электронный ресурс] / сайт информационного портала BBC - Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/science-environment-38769697>
229. New Study: 100% Renewable Energy across Europe is More Cost Effective than the Current Energy System and Leads to Zero Emissions Before 2050 [Электронный ресурс] / сайт портала Energy Watch Group. - Режим доступа: <http://energywatchgroup.org/new-study-100-renewable-energy-across-europe>
230. Next Generation Wind and Solar Power [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/NextGenerationWindandSolarPower.pdf>
231. Northwest Europe could install 60 GW of subsidy-free renewables by 2030, report finds [Электронный ресурс] / сайт портала PV-Magazine - Режим доступа: <https://www.pv-magazine.com/2018/03/21/northwest-europe-could-install-60-gw-of-subsidy-free-renewables-by-2030-report-finds>
232. Offshore Energy Outlook [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017Special_Report_OffshoreEnergyOutlook.pdf
233. Offshore wind in Europe. Walking the tightrope to success. Ernst & Young etAssociés [Электронный ресурс] / сайт The European Wind Energy Association. - Режим доступа: <https://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EY-Offshore-Wind-in-Europe.pdf>
234. Panwar N.L., Kaushik S.C., Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection : A review// Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2011.-Vol. 15/- Iss. 3.- PP. 1513–1524 [Электронный ресурс] / сайт портала Beren Sakarya. - Режим доступа:

<http://beren.sakarya.edu.tr/sites/beren.sakarya.edu.tr/file/1380752545-07-RenewEn.pdf.pdf>

235. Previsic M ., Bedard R . Yakutat Conceptual Design, Performance, Cost and Economic, Wave Power Feasibility Study [Электронный ресурс] / сайт портала Re-Vision. - Режим доступа: <http://www.re-vision.net/documents/Yakutat%20Conceptual%20Design,%20Performance,%20Cost%20and%20Economic%20Wave%20Power%20Feasibility%20Study.pdf>

236. Ramped up renewables expansion will aggravate existing Energiewende problems – opinion [Электронный ресурс] / сайт портала Clean Energy Wire (CLEW). - Режим доступа: <https://www.cleanenergywire.org/news/govt-backs-buyers-premium-clean-diesel-difficult-renewables-goal/ramped-renewables-expansion-will-aggravate-existing-energiewende-problems-opinion>

237. Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства по ВИЭ (IRENA). - Режим доступа: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_measuring-the-economics_2016.pdf

238. Renewable energy in Europe- 2018. Recent growth and knock-on effect [Электронный ресурс] / сайт European Environment Agency . - Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2018>

239. Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства по ВИЭ (IRENA). - Режим доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf

240. RE100 [Электронный ресурс] / сайт портала There100. - Режим доступа: <http://there100.org/news/14270068>

241. Renewable Power Generation Costs in 2014 [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства по ВИЭ (IRENA). - Режим доступа: https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_re_power_costs_2014_report.pdf

242. Renewable Power Generation Costs in 2017 [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства по ВИЭ (IRENA). - Режим доступа: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf

243. Renewables 2017. Analysis and Forecasts to 2022 [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа: <https://webstore.iea.org/market-report-series-renewables-2017>

244. Renewables 2018. Market analysis and forecast from 2018 to 2023 [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа: <https://www.iea.org/renewables2018/>

245. RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT [Электронный ресурс] / сайт Международной коалиции REN21. - Режим доступа: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf

246. REN21 – Renewables 2014 Global Status Report [Электронный ресурс] / сайт Международной коалиции REN21. - Режим доступа: http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2014/gsr2014_full%20report_low%20res.pdf
247. Roadmap For A Renewable Energy Future [Электронный ресурс] / сайт Международного Агентства по ВИЭ (IRENA). - Режим доступа: https://www.irena.org/-media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_2016_edition_report.pdf?la=en&hash=F574B2A80F2EDBBECD3BE02C6AC4B3E2D016FEB2
248. Rockefellers go green: Rockefeller foundation divests funds in fossil fuel industries [Электронный ресурс] / сайт портала Independent. - Режим доступа: <https://www.independent.co.uk/environment/climate-change/rockefellers-go-green-rockefeller-foundation-divests-funds-in-fossil-fuel-industries-9749767.html>
249. Romer P. M. Endogenous technological change // Journal of political Economy. – 1990. – Т. 98. – №. 5, Part 2. – PP. S71-S102 [Электронный ресурс] / сайт портала Nyu Stern. - Режим доступа: <http://pages.stern.nyu.edu/~promer/Endogenous.pdf>
250. Rubin E. S. and all. Learning curves for environmental technology and their importance for climate policy analysis // Energy. – 2004. – Т. 29. – №. 9. – PP. 1551-1559 [Электронный ресурс] / сайт портала eScholarship University California. - Режим доступа: <https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt2b35s2b3/qt2b35s2b3.pdf?t=14umpm>
251. Schiermeier Q. Germany Enlists Machine Learning to Boost Renewables Revolution [Электронный ресурс] / сайт портала Scientific American . - Режим доступа: <https://www.scientificamerican.com/article/germany-enlists-machine-learning-to-boost-renewables-revolution/>
252. Schulz F. Germany: A European laggard on smart cities [Электронный ресурс] / сайт портала Euractiv . - Режим доступа: <https://www.euractiv.com/section/digital/news/germany-a-european-laggard-on-smart-cities/>
253. Shankleman J. Parked Electric Cars Earn \$1,530 From Europe's Power Grids [Электронный ресурс] / сайт компании Bloomberg. - Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-08-11/parked-electric-cars-earn-1-530-feeding-power-grids-in-europe>
254. Sky scenario [Электронный ресурс] / сайт компании Shell. - Режим доступа: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky/could-society-reach-the-goals-of-the-paris-agreement.html>
255. Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2018. Report IEA PVPS [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа: http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf

256. Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model // Environmental and resource economics. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190 [Электронный ресурс] / сайт портала Research Gate. - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model
257. Statista. Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016 [Электронный ресурс] / сайт портала Statista. - Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany/>
258. Status of power system transformation. Advanced Power Plant Flexibility [Электронный ресурс] / сайт The 21st Century Power Partnership. - Режим доступа: <https://www.21stcenturypower.org/assets/pdfs/main-report.pdf>
259. Stiglitz E. and all. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/118025/118123/Fitoussi+Commission+report>
260. Stromnetze für 65 Prozent - Erneuerbare bis 2030 [Электронный ресурс] / сайт Agora Energiewende . - Режим доступа: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Stromnetze_fuer_Erneuerbare_Energien/Agora-Energiewende_Synchronisierung_Netze-EE_Netzausbau_WEB.pdf
261. Strompreisanalyse [Электронный ресурс] / сайт Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. - Режим доступа: https://www.bdew.de/media/documents/180109_BDEW_Strompreisanalyse_Januar_2018.pdf
262. Stukalkina A., Donovan C. The dangers of subsidy-free renewable energy [Электронный ресурс] / сайт Imperial College London . - Режим доступа: <https://www.imperial.ac.uk/business-school/knowledge/finance/dangers-subsidy-free-renewable-energy/>
263. Study helps make microgrids a more reliable power source [Электронный ресурс] / сайт портала R&D World . - Режим доступа : <https://www.rdmag.com/news/2017/11/study-helps-make-microgrids-more-reliable-power-source>
264. Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households [Электронный ресурс] / сайт офиса публикаций Европейского Союза. - Режим доступа: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en>
265. Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets households [Электронный ресурс] / сайт Европейского Союза. - Режим доступа: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/dg_ener_electricity_market_data_-_final_report_-_22032018.pdf
266. Subsidy-free renewable energy projects set to soar in UK, analysts say households [Электронный ресурс] / сайт портала The Guardian . - Режим доступа:

- <https://www.theguardian.com/business/2018/mar/20/uk-subsidy-free-renewable-energy-projects-set-soar-aurora-energy-research-analysts>
267. Summary for Policymakers. Global warming of 1.5°C [Электронный ресурс] / сайт ООН - The Intergovernmental Panel on Climate Change . - Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/summary-for-policy-makers>
268. Technology Roadmap Solar Thermal Electricity [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа : https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technologyroadmapsolarthermalelectricity_2014edition.pdf
269. The biomass delusion [Электронный ресурс] / сайт Environmental Paper Network. - Режим доступа : <https://environmentalpaper.org/the-biomass-delusion/>
270. The EBRD now invests in sustainable energy via its Green Economy Transition approach [Электронный ресурс] / сайт European Bank Reconstruction and Development. - Режим доступа : <http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors-and-topics/sustainable-energy-initiative.html>
271. The Global Forest Coalition [Электронный ресурс] / сайт портала Global Forest Coalition. - Режим доступа : <https://globalforestcoalition.org/>
272. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future [Электронный ресурс] / сайт World Bank . - Режим доступа : <http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>
273. Tracking SDG7: The energy progress report 2018 (joint report World Bank, IEA, IRENA, UN, WHO) [Электронный ресурс] / сайт Tracking SDG7 . - Режим доступа : https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/executive_summary.pdf
274. Tumbling Costs for Wind, Solar, Batteries Are Squeezing Fossil Fuels [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/tumbling-costs-wind-solar-batteries-squeezing-fossil-fuels>
275. UK should target 5GW of floating wind by 2030: FOFOW [Электронный ресурс] / сайт портала Recharge . - Режим доступа: <http://www.rechargenews.com/wind/1452273/uk-should-target-5gw-of-floating-wind-by-2030-fofow>
276. Watanabe J. Giant fall in generation costs from offshore wind [Электронный ресурс] / сайт компании BloombergNEF. - Режим доступа: http://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2016/11/BNEF_PR_2016-11-01-LCOE.pdf
277. Wind energy in Europe: Outlook to 2020 [Электронный ресурс] / сайт Ассоциации WindEurope . - Режим доступа: <https://windeurope.org/about-wind/reports/wind-energy-in-europe-outlook-to-2020/#download>
278. Wind energy in Europe: Scenarios for 2030 [Электронный ресурс] / сайт Ассоциации WindEurope . - Режим доступа: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Wind-energy-in-EuropeScenarios-for-2030.pdf>
279. Wind energy scenarios for 2030 [Электронный ресурс] / сайт European Wind Energy Association. - Режим доступа:

- <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EWEA-Windenergy-scenarios-2030.pdf>
280. Wiseman J. and all. Post Carbon Pathways: Towards a Just and Resilient Post Carbon Future [Электронный ресурс] / сайт портала Resilience . - Режим доступа: <https://www.resilience.org/stories/2013-05-06/post-carbon-pathways-report-april-2013/>
281. What does 'subsidy-free' renewables actually mean? [Электронный ресурс] / сайт портала Eco-Business . - Режим доступа: <https://www.eco-business.com/news/what-does-subsidy-free-renewables-actually-mean/>
282. What is a real costs of offshore wind? [Электронный ресурс] / сайт компании Siemens . - Режим доступа: <https://www.energy.siemens.com/br/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/SCOE/Infoblatt-what-is-the-real-cost-of-offshore.pdf>
283. World Bank Group Announcements at One Planet Summit [Электронный ресурс] / сайт World Bank . - Режим доступа : <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2017/12/12/world-bank-group-announcements-at-one-planet-summit>
284. World Bank .World Development Indicators Database [Электронный ресурс] / сайт World Bank . - Режим доступа : <http://documents.worldbank.org/curated/en/795941468338533334/pdf/956820PUB097810til0Apr140at010300am.pdf>
285. World Energy Outlook [Электронный ресурс] / сайт International Energy Agency. - Режим доступа : <https://webstore.iea.org/weo-2018-special-report-offshore-energy-outlook>
286. WTO. International Trade Statistics [Электронный ресурс] / сайт World Trade Organization. - Режим доступа : https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2015_e/its2015_e.pdf
287. Wright T. P. Factors affecting the cost of airplanes //Journal of aeronautical sciences. – 1936. – Т. 3. – №. 4. – PP. 122-128 Statistics [Электронный ресурс] / сайт The University of Vermont. - Режим доступа : <http://www.uvm.edu/pdodds/research/papers/others/1936/wright1936a.pdf>
288. Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland [Электронный ресурс] / сайт Министерства экономики и энергетики ФРГ . - Режим доступа : https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=12

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

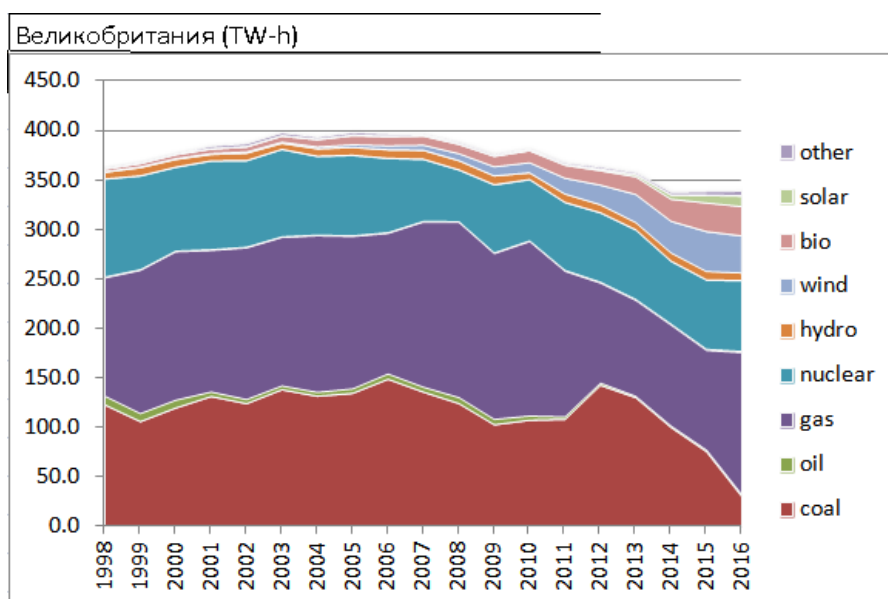


Рисунок А1 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Великобритании (1998-2016 г.г.)

Эта диаграмма и все остальные в Приложении А составлены автором по данным статистики ЕС: Energy datasheets: EU28 countries.

URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx (дата обращения 14.09.2017)



Рисунок А2 - Кумулятивная установленная мощность различных источников электроэнергии ТЭК Великобритании (слева 2000 год, справа 2016 год)

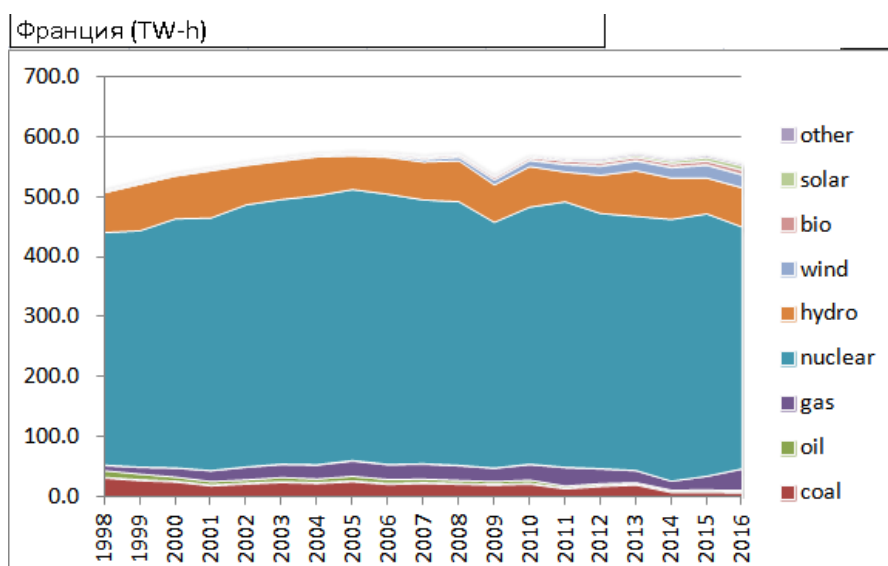


Рисунок А3 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Франции (1998-2016 г.г.)

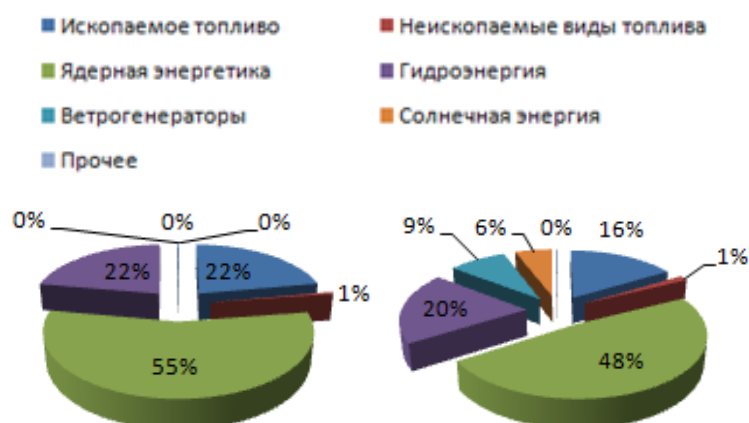


Рисунок А4 - Кумулятивная установленная мощность различных источников электроэнергии ТЭК Франции (слева 2000 год, справа 2016 год)

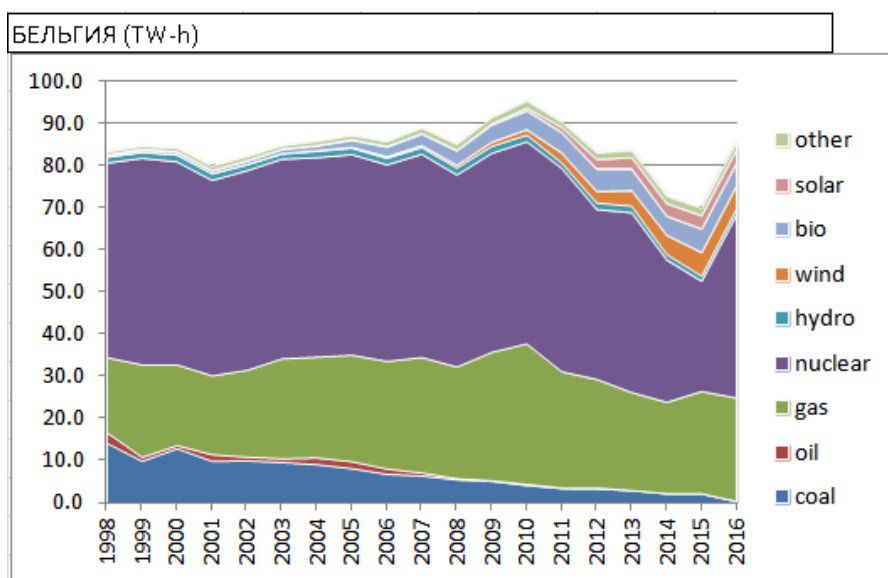


Рисунок А5 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Бельгии (1998-2016 г.г.)

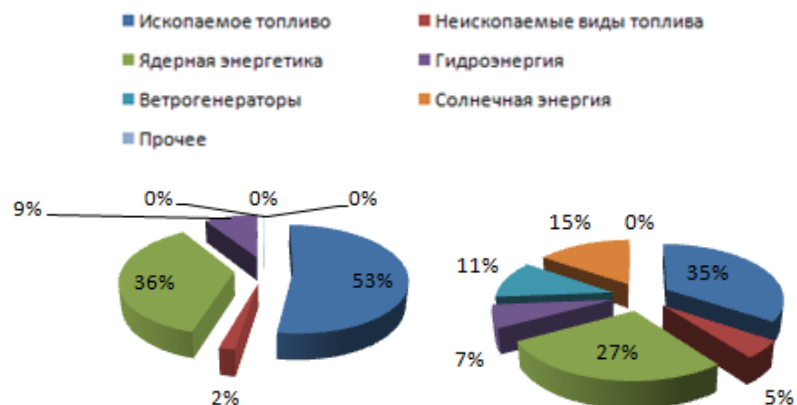


Рисунок А6 - Кумулятивная установленная мощность различных источников электроэнергии ТЭК Бельгии (слева 2000 год, справа 2016 год)

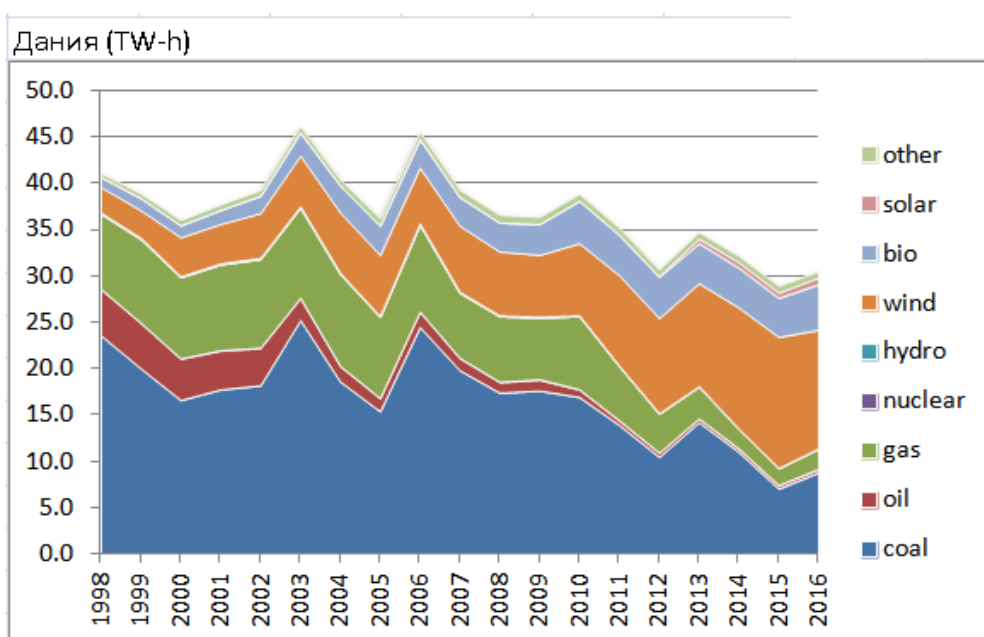


Рисунок А7 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Дании (1998-2016 г.г.)



Рисунок А8 - Кумулятивная установленная мощность различных источников электроэнергии ТЭК Дании (слева 2000 год, справа 2016 год)

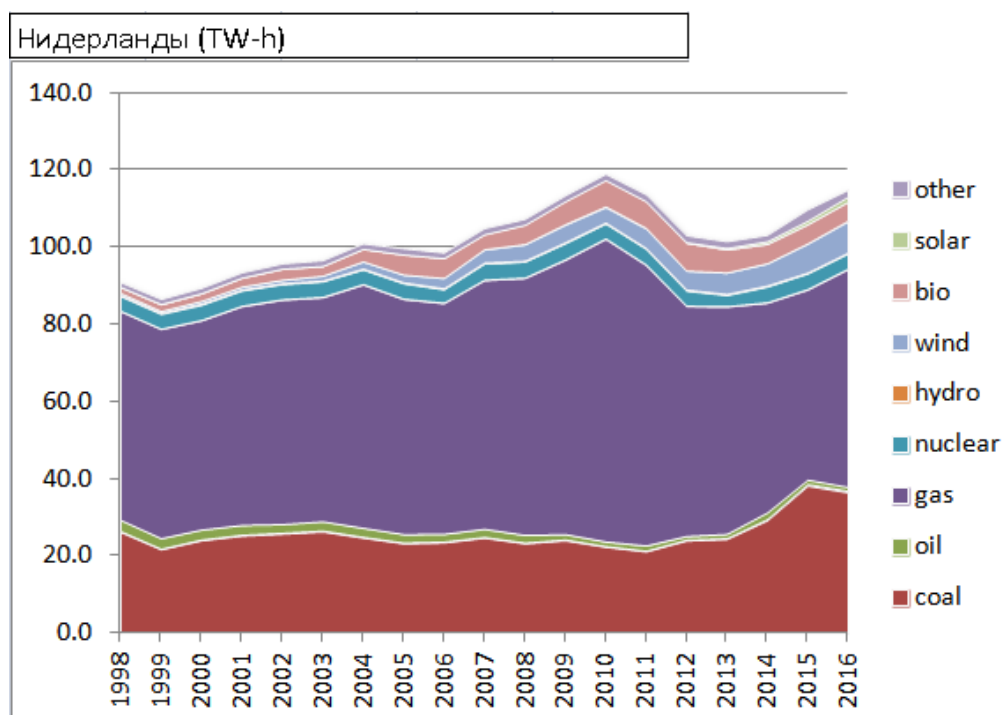


Рисунок А9 - Динамика производства электроэнергии различными источниками ТЭК Нидерландов (1998-2016 г.г.)



Рисунок А10 - Кумулятивная установленная мощность различных источников электроэнергии ТЭК Нидерландов (слева 2000 год, справа 2016 год)

Приложение Б.

Таблица Б1- Ведущие организации и научные программы плана SET

Основные ведущие организации ЕС, обеспечивавшие финансирование плана SET	Европейский банк реконструкции и развития (EBRD) Европейский инвестиционный банк (EIB) Европейский фонд регионального развития (ERDF) Европейский фонд энергоэффективности (EEEF) Фонд финансирования распределения рисков (RSFF) Фонд сплочения (CF).
Основные научные программы плана SET	Рамочная программа исследований, технологического развития и демонстраций (FP7) Рамочная программа конкурентоспособности, инноваций и поддержки малых и средних предприятий (CIP) Программа предпринимательства и инноваций (EIP)

Программа интеллектуальной энергетики (IEE) Программа европейской локальной энергетической помощи (ELENA) Европейская энергетическая программа по восстановлению (EPR) Программа сохранения окружающей среды (LIFE)
--

Таблица Б2 – Финансовая поддержка различных технологий ВИЭ по плану SET

Программы поддержки НИОКР технологий ВИЭ	Сумма, млрд. евро
Всего за период 2007-2013 годы	7,2
Ветровые технологии	1,82
Солнечные технологии	1,3
Биоэнергетика	1,2
Технологии интеграции ВИЭ в электрические сети	0,775
Технологии повышения энергоэффективности	0,425
Топливо - водородные элементы	0,417
Накопители энергии	0,150
Энергетика океана	0,239
Улавливание, хранение и использование углерода (CCS и CCU)	0,245
Геотермальные технологии	0,72
Технологии гидроэнергетики	0,014

Таблицы В1 и В2 составлены автором/ Источник: EU R&D funding for Low Carbon Energy Technologies. Analysis of the distribution of 2007-2013 commitments.

URL:<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99158/commitmentanalysis2007-2013bnl09122015.pdf> (дата обращения 11.07.2018)

Таблица Б3 - Динамика инвестиций в ВИЭ лидеров БСМ за период 2005-2017 годы

Инвестиции млрд. евро (%)	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017
Европа	33,8	65,4	79,4	119,9	61,1	64,2	49,9
Германия	13,2 (39)	17,6 (27,0)	24 (30,2)	33,9 (28,3)	16,4 (27,0)	16,1 (25,0)	12,7 (25,4)
Великобритания	4,1 (12,1)	5,9 (9,0)	10,4 (13,1)	11,4 (9,5)	13,1 (21,4)	22,5 (35,0)	9 (18,0)
Франция	2,8 (8,3)	4,3 (6,6)	4,0 (5,0)	9,1 (7,6)	4,5 (7,4)	3,6 (5,6)	4,4 (8,8)

Таблицы В3 и В4 составлены автором по данным источника : Clean Energy Investment Trends.

URL:<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf> (дата обращения 12.11.2018)

Таблица Б4 - Распределение глобальных инвестиций по технологиям ВИЭ в 2011 и 2017 годах

Инвестиции млрд. евро	Всего	Ветровые ВИЭ	Солнечные ВИЭ	«Умная» энергетика	Био энергетика	Другие ВИЭ
-----------------------	-------	--------------	---------------	--------------------	----------------	------------

(%)						
Глобальные 2011 год,	281,9	75,7 (26,8)	137,5 (48,8)	26,1 (9,3)	26,9 (9,6)	15,7 (5,5)
Глобальные 2017 год,	290,2	93,0 (32,0)	140,0 (48,3)	42,6 (14,7)	6,1 (2,1)	8,7 (3,0)

Составлено автором по данным источника : Clean Energy Investment Trends.

URL: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/07/BNEF-Clean-Energy-Investment-Trends-1H-2018.pdf>
(дата обращения 12.11.2018):

Приложение В.

Таблица В1 – Суммарный объем субсидирования секторов традиционной и возобновляемой энергетики ЕС-28 и стран БСМ за период 2008-2016 г.г.

	Субсидирование энергетического сектора (млрд евро)	Субсидирование традиционной энергетики (млрд евро)	Субсидирование возобновляемой энергетики (млрд евро)
ЕС-28	1444	502	488
Бельгия	48,35	22,75	12,18
Великобритания	229,89	111,12	43,04
Германия	355,28	87,55	173,44
Дания	19,26	3,15	6,04
Нидерланды	44,43	21,50	9,44
Франция	137,12	60,06	33,41

Составлено автором по данным : Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

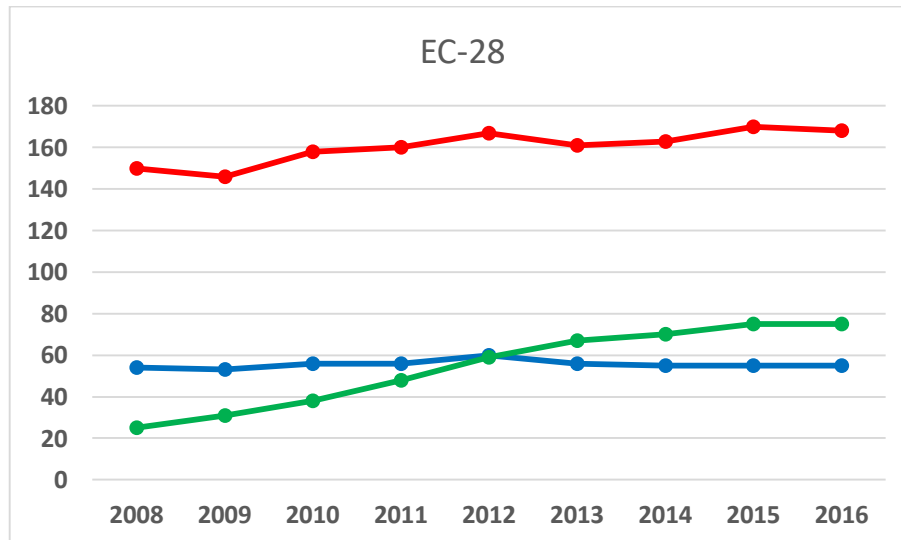




Рисунок В1 - Динамика субсидирования (млрд. евро) энергетического сектора (красный), традиционной энергетики (синий) и ВИЭ (зеленый) в странах ЕС (графики наверху), во Франции (графики внизу)

Составлено автором по данным: Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

Таблица В2 - Динамика субсидирования (млрд. евро) всего энергетического сектора (Э), традиционной энергетики (Т) и ВИЭ (В) в ЕС-28 и ведущих странах БСМ

	ЕС-28			Германия			Великобритания			Франция		
	Э	Т	В	Э	Т	В	Э	Т	В	Э	Т	В
2008	150	54	25	33,94	10,36	8,09	24,55	12,68	1,99	13,01	5,53	1,16
2009	146	53	31	32,3	9,97	9,2	34,23	12,0	2,33	13,73	5,65	1,79
2010	158	56	38	37,64	9,78	14,39	25,73	12,96	2,54	13,31	5,29	1,83
2011	160	56	48	39,18	9,83	18,76	24,62	12,55	2,92	14,61	6,74	2,55
2012	167	60	59	42,65	9,96	22,83	25,68	13,06	4,26	14,91	7,32	3,72
2013	161	56	67	38,75	8,96	22,27	25,18	12,32	5,73	14,36	7,01	4,12
2014	163	55	70	41,75	9,53	24,11	25,77	11,85	6,58	15,81	6,98	5,28
2015	170	55	75	44,63	9,69	26,76	27,86	12,14	8,26	17,41	7,49	6,05
2016	168	55	75	44,41	9,47	27,04	26,30	11,62	8,43	19,98	8,05	6,89

Составлено автором по данным : Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

Таблица В3 - Динамика субсидирования (млрд. евро) всего энергетического сектора (Э), традиционной энергетики (Т) и ВИЭ (В) в Нидерландах, Дании и Бельгии

	Нидерланды			Дания			Бельгия		
	Э	Т	В	Э	Т	В	Э	Т	В
2008	5,04	1,66	0,93	1,4	0,2	0,2	4,4	2,3	0,4
2009	4,77	1,68	0,98	1,5	0,2	0,3	4,6	2,3	0,7
2010	5,86	2,83	1,16	2,2	0,4	0,5	5,7	2,7	1,1
2011	5,42	2,2	0,99	2,2	0,4	0,6	6,1	2,6	1,4
2012	5,06	2,81	1,03	2,2	0,4	0,6	6,7	2,6	1,9

2013	4,32	2,35	1,03	2,3	0,4	0,9	6,4	2,8	2,1
2014	4,45	2,38	0,97	2,5	0,4	1,0	4,9	2,3	1,5
2015	4,59	2,44	1,03	2,5	0,3	1,0	4,7	2,5	1,5
2016	4,83	2,6	1,30	2,5	0,4	1,0	4,7	2,6	1,5

Составлено автором по данным : Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL:<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019)

Приложение Г.

Таблица Г1 - Теоретическое обоснование использования факторов-индикаторов аналитического подхода к оценке динамики и эффективности процессов замещения

Показатель	Формула для расчета	Условные обозначения
Индикатор экономической эффективности замещения	$IE_1 = \frac{F_R}{C_R} * k_{er} / \frac{F_T}{C_T} * k_{et}$ $IE_2 = \frac{NPV_R}{IC_R} * k_{er} / \frac{NPV_T}{IC_T} * k_{et}$	<p>F_T и F_R – соответственно, текущие доходы, полученные от эксплуатации традиционных и возобновляемых источников энергии;</p> <p>C_T и C_R – соответственно, текущие расходы, связанные с эксплуатацией энергоносителей;</p> <p>k_{et} и k_{er} – коэффициент снижения экологической нагрузки по энергоносителям</p> <p>NPV_T и NPV_R – чистая приведённая стоимость эксплуатации энергоносителей;</p> <p>IC_T и IC_R – капитальные затраты, связанные с созданием инфраструктуры</p>
Коэффициент снижения экологической нагрузки	$k_e = 1 - \frac{ED}{F}$	<p>ED – оцененный экологический ущерб от эксплуатации энергоносителей;</p> <p>F – экономические выгоды от реализации энергетических ресурсов</p>
Индикатор рациональности замещения	$IR = \frac{EC_T}{EC_R} * d_{kua}$	<p>EC_R и EC_T – соответственно, энергоёмкость экономики и социально-бытового сектора при использовании возобновляемых традиционных энергоносителей;</p> <p>d_{kua} – отношение усреднённого КПД возобновляемой энергетики и КПД традиционной энергетики</p>
Индикатор результативности замещения	$IS = B * \frac{A + D}{2}$	<p>A – энергетическая обеспеченность региона</p> <p>B – достаточность энергетического обеспечения</p> <p>D – качество развития региона</p>
Коэффициент энергетической обеспеченности	$A = \frac{(A_{fr} - A_{minr}) + (A_{ft} - A_{mint})}{A_{max} - A_{min}}$	<p>A_r и A_{fr} – соответственно, фактическая обеспеченность возобновляемыми и традиционными энергоносителями;</p> <p>A_{minr} и A_{mint} – минимально допустимый уровень самообеспечения соответственно энергетическими ресурсами;</p> <p>A_{min} и A_{max} – суммарный минимально</p>

		возможный и максимально установленный уровень самообеспечения р всеми видами энергетических ресурсов
Коэффициент достаточности энергетического обеспечения	$B = \frac{PP_r + PP_t}{FC_r + FC_t}$	Соотношение первичного производства (PP) и конечного потребления (FC) по каждому виду источников (соответственно: r– возобновляемые, t– традиционные)
Коэффициент качества развития	$D = \frac{GPI}{GDP}$	соотношение генерального индикатора прогресса (GPI) и внутреннего валового продукта (GDP)

Составлено автором. Источник: Горлов А.А. Методика оценки динамики процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. - 2016. - №3. - С.21-28

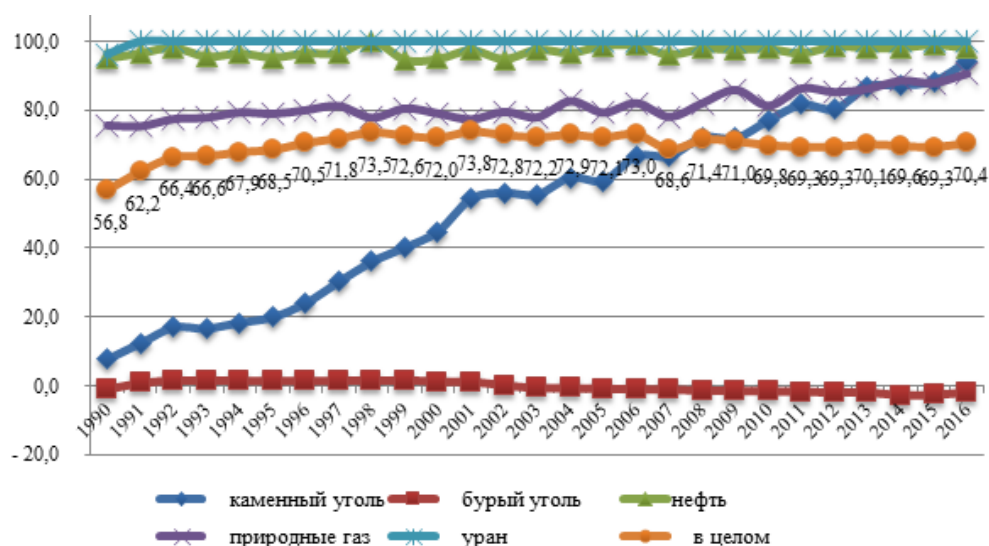


Рисунок Г1- Динамика импорта ископаемых энергетических ресурсов в Германии (%) с 1990 по 2016 годы.

Составлено автором. Источник: Eurostat. Energy production and imports.

URL:[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports#Energy_security)

explained/index.php/Energy_production_and_imports#Energy_security (дата обращения 16.04.2018)

Таблица Г2 - Количественные цели энергетического перехода Германии

Показатели	2015	2020	2030	2040	2050
Выбросы парниковых газов (по сравнению с 1990 годом)	-27,2 %	Min -40 %	Min -55 %	Min-70 %	80 % -95 %
Доля ВИЭ в конечном потреблении энергии	14,9 %	18 %	30 %	45 %	60 %
Доля ВИЭ в валовом потреблении электроэнергии	31,6 %	Min 35 %	Min 50 % 2025 год: 40 -45 %	Min 65 % 2035 год: 55 - 60 %	Min 80 %
Потребление первичной энергии (по сравнению с 2008 годом)	-7,6 %	-20 %	→	-50 %	
Энергоэффективность	1,3% в год	2,1 % в год (2008-2050 годы)			

	(2008-2015 гг)	
--	-----------------	--

Составлено автором. Источники: Energy roadmap 2050. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council , the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:EN:PDF> (дата обращения 17.03.2017); Erneuerbare-Energien-Gesetz.

URL:https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl100s0305.pdf#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl100s0305.pdf%27%5D__1554832189882 (дата обращения 12.08.2017); Renewable Energy Prospects for the European Union (REmap EU). URL:https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf (дата обращения 11.10.2018) ; Stromnetze für 65 ProzentErneuerbarebis 2030 Agora Energiewende. URL: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Stromnetze_fuer_Erneuerbare_Energien/Agora-Energiewende_Synchronisierung_Netze-EE_Netzausbau_WEB.pdf (дата обращения 18.02.2019)

Таблица ГЗ - Средние затраты на поддержку ВИЭ для потребителей электроэнергии в 2016 году

	Потребление электроэнергии (ГВт-ч)	Финансирование поддержки ВИЭ потребителями (Млн евро)	Средние затраты конечных потребителей (евро/МВт-ч)
ЕС-28	2 786 137	66 467	23.9
Бельгия	81 725	1 378	16.9
Великобритания	303 902	8 427	27.7
Германия	517 377	23 169	44.8
Дания	31 152	768	24.7
Нидерланды	105 332	0	0
Франция	440 971	5 200	11.8

Составлено автором по данным : Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households. URL:<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7c9d93b-1879-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-en> (дата обращения 09.08.2019):

Таблица Г4 - Расчет индекса Херфиндаля-Хиршмана по долям стран - импортеров источников энергии 2012 год

Страна	Нефть				Природный газ				Уголь				Доля страны-импортера в общем импорте энергоресурсов (Si)	S _i ²	
	импорт нефти, 1000 т	импорт нефти, %	доля импорта нефти в общем импорте энергоресурсов	доля страны-импортера нефти в общем импорте энергоресурсов	импорт газа, млн. м куб.	импорт газа, %	доля импорта газа в общем импорте энергоресурсов	доля страны-импортера газа в общем импорте энергоресурсов	импорт угля, 1000 т	импорт угля, %	доля импорта угля в общем импорте энергоресурсов	доля страны-импортера угля в общем импорте энергоресурсов			
Россия	34 702	0,37	0,528	0,1961	37,0	0,38	0,30	0,12	11546	0,25	0,17	0,04	0,3544	0,1256	
Норвегия	9 349	0,10		0,0528	32,5	0,33		0,10	395	0,01		0,00	0,1558	0,0243	
Соединенное Королевство	13 261	0,14		0,0750									0,0750	0,0056	
Казахстан	5 430	0,06		0,0307									0,0307	0,0009	
Азербайджан	2 146	0,02		0,0121									0,0121	0,0001	
Нигерия	6 652	0,07		0,0376									0,0376	0,0014	
Алжир	2 330	0,02		0,0132									0,0132	0,0002	
Ирак	839	0,01		0,0047									0,0047	0,0000	
Ливия	8 613	0,09		0,0487									0,0487	0,0024	
Египет	1 307	0,01		0,0074									0,0074	0,0001	
Мексика	87	0,00		0,0005									0,0005	0,0000	
Саудовская Аравия	2 381	0,03		0,0135									0,0135	0,0002	
Ангола	428	0,00		0,0024									0,0024	0,0000	
Другие страны	20	0,00		0,0001	2,9	0,03		0,01	2054	0,05			0,01	0,0168	0,0003
США	-	-		-					9809	0,22			0,04	0,0364	0,0013
Дания	679	0,01		0,0038										0,0038	0,0000
Кот-д'Ивуар	452	0,00		0,0026										0,0026	0,0000
Венесуэла	707	0,01		0,0040					112	0,00			0,00	0,0044	0,0000
Нидерланды	584	0,01		0,0033	24,8	0,26		0,08						0,0807	0,0065
Экваториальная Гвинея	79	0,00		0,0004										0,0004	0,0000
Тунис	518	0,01		0,0029										0,0029	0,0000
Италия	424	0,00		0,0024										0,0024	0,0000
Колумбия	534	0,01		0,0030					9352	0,21			0,03	0,0377	0,0014
Бразилия	468	0,01		0,0026										0,0026	0,0000
Польша	211	0,00	0,0012				3971	0,09		0,01	0,0159	0,0003			
Гана	171	0,00	0,0010								0,0010	0,0000			
Кувейт	591	0,01	0,0033								0,0033	0,0000			

Туркменистан	39	0,00		0,0002								0,0002	0,0000
Эстония		-		-								-	-
Камерун		-		-								-	-
Канада	0	-		-			1516	0,03			0,01	0,0056	0,0000
Франция	5	0,00		0,0000								0,0000	0,0000
Швеция		-		-								-	-
ЮАР		-		-			1972	0,04			0,01	0,0073	0,0001
Латвия	0	-		-								-	-
Гватемала		-		-								-	-
ОАЭ	0	-		-								-	-
Габон	120	0,00		0,0007								0,0007	0,0000
Албания	61	0,00		0,0003								0,0003	0,0000
Пакистан		-		-								-	-
Белизе		-		-								-	-
Тринидад и Тобаго	0	-		-								-	-
Грузия	33	0,00		0,0002								0,0002	0,0000
Австралия		-		-			4451	0,10			0,02	0,0165	0,0003
Индонезия		-		-			0				-	-	-
Чешская республика		-		-			323	0,01			0,00	0,0012	0,0000
Китай		-		-			11	0,00			0,00	0,0000	0,0000
Литва	76	0,00		0,0004								0,0004	0,0000
Иран	96	0,00		0,0005								0,0005	0,0000
Всего	93 393	1,00		0,528	97,2	1,00	0,30	45 512	1,00		0,17	1,00	0,1710
HHI_s													0,1710

Источник: составлено и рассчитано автором на основ: Statista. Dependency on energy imports in Germany from 2006 to 2016. URL: <https://www.statista.com/statistics/267587/dependency-on-energy-imports-in-germany> (дата обращения 14.07.2018); Энергетическое исследование 2016, 2015, 2014, 2013, 2012 . Федеральный институт сырья (BGR). URL https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/produkte_node.html?tab=Energiestudien (дата обращения 19.06.2018)

Подобным же образом, как в таблице Г4 были подготовлены и использованы данные для расчетов индекса Херфиндаля-Хиршмана по долям стран - импортеров источников энергии в 2013,2014,2015 и 2016 годах (в Приложение не включены)

Таблица Г5 - Расчет индекса Херфиндаля-Хиршмана по долям источников энергии

Источник энергии	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2	доля источника	R_j^2
Нефть	0,3294	0,1085	0,3327	0,1107	0,3366	0,1133	0,3348	0,1121	0,3409	0,1162	0,3388	0,1148	0,3395	0,1153
Каменный уголь	0,1206	0,0145	0,1261	0,0159	0,1283	0,0165	0,1331	0,0177	0,1335	0,0178	0,1304	0,0170	0,1231	0,0152
Бурый уголь	0,1063	0,0113	0,1150	0,0132	0,1223	0,0150	0,1178	0,0139	0,1194	0,0143	0,1181	0,0139	0,1130	0,0128
Природный газ	0,2230	0,0497	0,2141	0,0458	0,2171	0,0472	0,2213	0,0490	0,2018	0,0407	0,2090	0,0437	0,2249	0,0506
Атомная энергия	0,1079	0,0116	0,0866	0,0075	0,0807	0,0065	0,0768	0,0059	0,0804	0,0065	0,0755	0,0057	0,0686	0,0047
Энергия воды и ветра	0,0178	0,0003	0,0227	0,0005	0,0265	0,0007	0,0275	0,0008	0,0309	0,0010	0,0372	0,0014	0,0364	0,0013
Другие ВИЭ	0,0816	0,0067	0,0848	0,0072	0,0765	0,0059	0,0809	0,0065	0,0844	0,0071	0,0868	0,0075	0,0897	0,0080
Другие источники	0,0134	0,0002	0,0180	0,0003	0,0001	0,0000	0,0077	0,0001	0,0087	0,0001	0,0430	0,0019	0,0047	0,0000
	1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0	
HNI_R		0,2029		0,2008		0,2050		0,2059		0,2036		0,2058		0,2079

Таблица Г6 - Эффективность замены традиционных источников энергии на возобновляемые источники для домашних хозяйств

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Индекс цен на энергию ($C_{ЭН}$), 2010 = 100%	100	105	107	102	92	95	98
Индекс потребительских цен ($C_{ДХ}$), 2010 = 100%	100	102,1	104,1	105,7	106,6	106,9	107,4
Индекс изменения расходов домашних хозяйств на энергию, $I_{ЭН}$	1	1,0294	1,0231	0,9649	0,8624	0,8890	0,9091
Расходы домашних хозяйств на электроэнергию, евроцент/кВт·ч ($C_{Эл}$)	23,42	25,08	25,76	28,83	29,372	29,156	29,331
Потребление электроэнергии частными домохозяйствами на одного жителя,	1765,1	1701,8	1703,6	1686,5	1601,7	1577,5	1557,7

кВт·ч ($Q_{ДХ}$)							
Индекс изменения расходов домашних хозяйств на электроэнергию, $I_{ЭД}$	0,0133	0,0147	0,0151	0,0171	0,0183	0,0185	0,0188
Доплаты домашних хозяйств на возобновляемые источники энергии, млн евро ($C_{ВИЭ}$)	9510,92	13785,72	18719,39	23414	23286,73	23810,08	24199,79
Объем предотвращенных выбросов парниковых газов, млн евро ($B_{ПГ}$)	112 812	129 302	131 586	136 122	139 812	157 654	160 453
Индекс доплат домашних хозяйств на развитие возобновляемых источников энергии, $I_{ВИЭ}$	0,0843	0,1066	0,1423	0,1720	0,1666	0,1510	0,1508
Эффективность замены традиционных источников энергии на возобновляемые источники для домашних хозяйств, $E_{ДХ}$	893,9540	618,2702	454,4000	352,4552	379,6593	402,9783	387,3314

Таблица Г7- Результаты оценки динамики индикаторов процессов замещения традиционных источников на возобновляемые источники энергии в Германии

	2011/ 2010	2012/ 2011	2013/ 2012	2014/ 2013	2015/ 2014	2016/ 2015
IS	-	-	1,16	0,98	0,89	0,86
IR	1,08	1,016	0,98	1,07	1,01	1,00
R _{ВИЭ}	- 0,8	- 1,6	- 0,93	1,07	0,14	- 1,0
E _{ДХ}	0,69	0,73	0,776	1,077	1,061	0,961

Рассчитано и составлено и автором

Приложение Д.

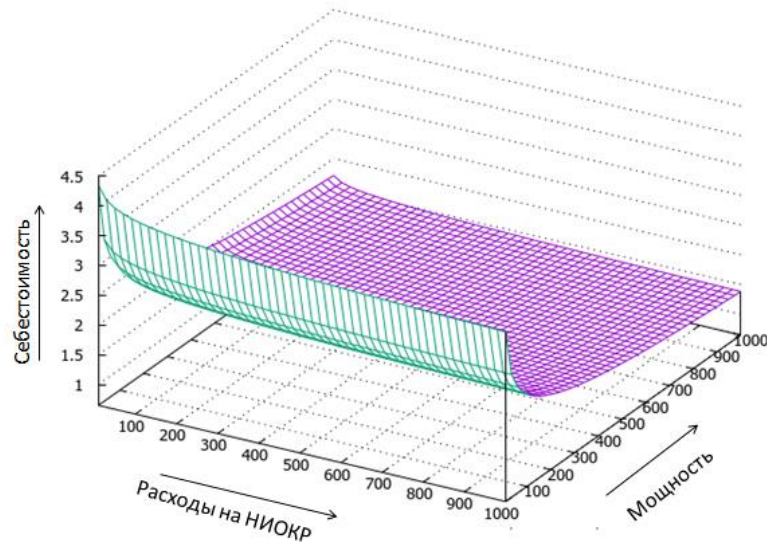


Рисунок Д1 - Двухфакторная кривая обучения в линейной шкале в трехмерном пространстве, построенная по уравнению $Y = 7.713X^{-0.047}RD^{-0.202}$

По осям: себестоимость энергии (\$/кВт – ч) , совокупная мощность (МВт) и накопленные расходы на НИОКР (\$)

Составлено автором. Источник: Söderholm P., Klaassen G. Wind power in Europe: a simultaneous innovation–diffusion model //Environmental and resource economics. – 2007. – Т. 36. – №. 2. – PP. 163-190. URL: https://www.researchgate.net/publication/5146919_Wind_Power_in_Europe_A_Simultaneous_Innovation-Diffusion_Model (дата обращения 12.08.2017)

Таблица Д1 - Двухфакторная система одновременных уравнений для оценок кривой обучения методом наименьших квадратов.

$$\begin{cases} \ln X_t = \frac{b_1 - b_2 \ln(\alpha)}{1 - \varepsilon b_2} + \frac{b_3}{1 - \varepsilon b_2} \ln(t) + \frac{b_2 \beta}{1 - \varepsilon b_2} \ln(RD_t) \\ \ln Y_t = \frac{\varepsilon b_1 - \ln(\alpha)}{1 - \varepsilon b_2} + \frac{\beta}{1 - \varepsilon b_2} \ln(RD_t) + \frac{\varepsilon b_3}{1 - \varepsilon b_2} \ln(t) \end{cases}$$

где Y – себестоимость производимой продукции, X – показатель накопленного опыта (кумулятивная мощность), α – является коэффициентом пропорциональности, эмпирически оцениваемый параметр ε – отражает отрицательную зависимость кривой.: β – эластичность LCOE по расходам на НИОКР, b_1 - коэффициент пропорциональности, b_2 – эластичность выработки энергии по LCOE, b_3 - эластичность выработки энергии по расходам на НИОКР (R&D)

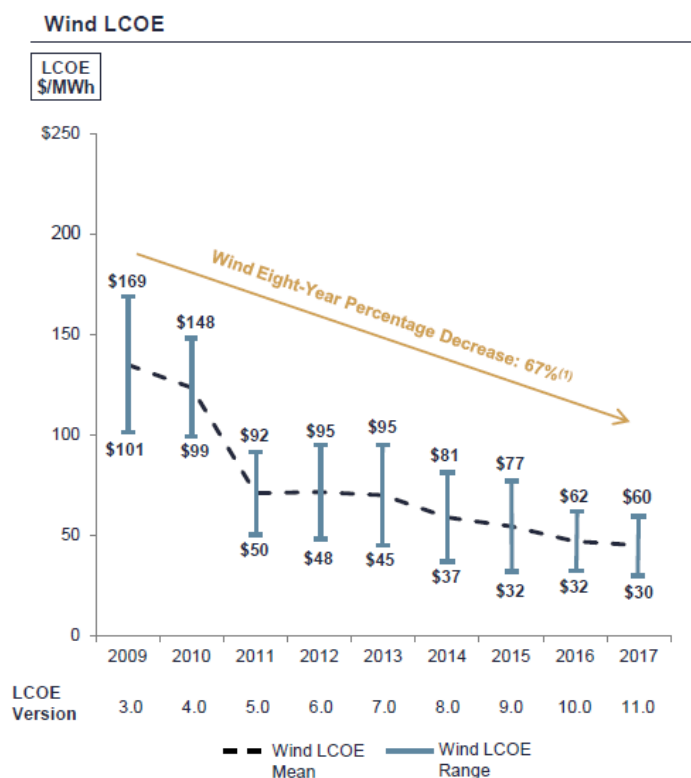


Рисунок Д2 - Динамика интервальных оценок LCOE береговых ВЭУ
 Источник: инвестиционная компания LAZARD: Lazard , Levelized cost of energy analysis—version 11.0. URL:<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf> (дата обращения 12.01.2019)

Таблица Д2 - Инвестиции в развитие оффшорных ветровых платформ Германии

Запуск	Проект	Инвестиции (млн. евро)	Мощность (МВт)
2010	Alphaventus	60	250
2013	BARDOffshore 1	2900	400
2014	MeerwindSüd/Ost	1200	288
2014	Riffgat	480	108
2015	Global Tech 1	1800	400
2015	Borkum Riffgrund I	1190	312
2015	Amrumbank West	1000	302
2015	Butendiek	1300	288
2015	DanTysk	1000	288
2016	Gode Wind	2200	582
2017	Wikinger	1350	400
2017	Veja Mate	1900	402
2017	Nordsee One	1200	332.1
2017	Sandbank	1200	288

Составлено автором. Источник: Energiewende beschleunigen – Ausbau der Offshore Windenergie läuft bis 2020 nach Plan // Bundesverband Wind Energie. URL:<https://www.wind-energie.de/presse/pressemittelungen/2018/energiewendebeschleunigen-ausbau-der-offshore-windenergie-laeuft-bis> (дата обращения 15.02.2019)

Таблица Д3 - Уравнения динамики LCOE оффшорных ВЭУ за 2011-2017 гг. для восстановления отсутствующих данных за 2012 год

$\ln(LCOE_{min}) = 11.573 - 2.75\ln t,$	$R^2 = 0.991, Prob(F) = Prob(t) = 0$
$\ln(LCOE_{max}) = 11.75 - 2.72\ln t,$	$R^2 = 0.993, Prob(F) = Prob(t) = 0$
$\ln(LCOE_{min}) = 11.66 - 2.73\ln t,$	$R^2 = 0.992, Prob(F) = Prob(t) = 0$

Рассчитано и составлено автором

Таблица Д4 - Кривые обучения технологий оффшорных ВЭУ Германии

Германия	$\ln(LCOE_{min}) = 7.851 - 0.295\ln(Prod),$	$R^2 = 0.684,$
	$Prob(F) = Prob(t) = 0.084$	
	$\ln(LCOE_{avg}) = 7.988 - 0.295\ln(Prod),$	$R^2 = 0.692,$
	$Prob(F) = Prob(t) = 0.081$	
	$\ln(LCOE_{max}) = 8.108 - 0.295\ln(Prod),$	$R^2 = 0.699,$
	$Prob(F) = Prob(t) = 0.078$	

Рассчитано и составлено автором

Таблица Д5 - Расчеты тренда динамики LCOE технологий оффшорных ВЭУ стран БСМ (на примере Германии)

LCOE (\$/МВт·ч)			
год	min	max	avg
2020	126.03	157.21	139.36
2021	119.76	147.76	130.98
2022	114.30	139.63	123.77
2023	109.51	132.55	117.49
2024	105.24	126.31	111.96
2025	101.42	120.77	107.05
2026	97.98	115.81	102.65
2027	94.84	111.33	98.68
2028	91.98	107.27	95.08
2029	89.36	103.56	91.79
2030	86.93	100.16	88.78

Рассчитано и составлено автором

Таблица Д6 - Уравнения экстраполяции по данным таблицы Е5 (уравнения тренда динамики LCOE технологий оффшорных ВЭУ до 2030 года)

$\ln(LCOE_{min}) = 6.07 - 0.536 \ln(t),$
$\ln(LCOE_{max}) = 6.555 - 0.65 \ln(t),$
$\ln(LCOE_{avg}) = 6.435 - 0.65 \ln(t),$

Рассчитано и составлено автором

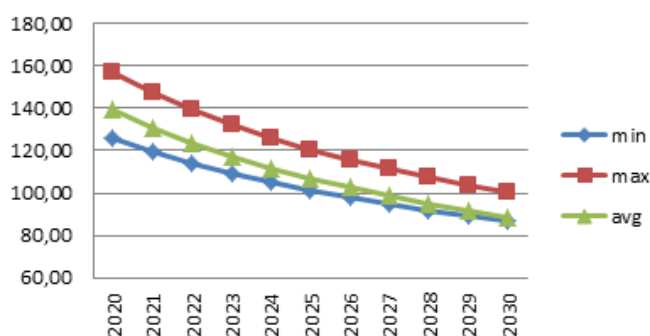


Рисунок Д3 – Кривые тренда динамики LCOE оффшорных ВЭУ стран БСМ до 2030 года
Рассчитано и составлено автором

Приложение Е

Таблица Е1 - Уравнения динамики LCOE технологий плавучих ВЭУ стран БСМ

$\ln(LCOE_{min}) = 5.46 - 0.596 \ln(t), \quad R^2 = 0.99, \quad Prob(t) = Prob(F) = 0$
$\ln(LCOE_{max}) = 5.2 - 0.38 \ln(t), \quad R^2 = 0.99, \quad Prob(t) = Prob(F) = 0.002$
$\ln(LCOE_{avg}) = 5.52 - 0.2 \ln(t), \quad R^2 = 0.952, \quad Prob(t) = Prob(F) = 0.025$

Рассчитано и составлено автором

Таблица Е2 - Расчетная таблица значения динамики LCOE плавучих ВЭУ стран БСМ до 2030 года

год	Прогноз по динамике		
	LCOE	S/МВт-ч	
	min	avg	max
2017	234.80	245.25	249.31
2018	155.39	188.87	216.84
2019	122.06	162.11	199.84
2020	102.84	145.45	188.59

2021	90.05	133.72	180.31
2022	80.78	124.84	173.81
2023	73.70	117.80	168.50
2024	68.06	112.02	164.03
2025	63.45	107.15	160.18
2026	59.59	102.98	156.82
2027	56.31	99.35	153.84
2028	53.46	96.14	151.17
2029	50.97	93.29	148.75
2030	48.77	90.72	146.55

Рассчитано и составлено автором

Таблица Е3 - Информация о ВЭУ на суше для построения производственной функции технологий плавучих ВЭУ Франции

Годы	Франция	
	PROD ТВт-ч	POW МВт
2006	2200	1 412
2007	4100	2 223
2008	5700	3 403
2009	7900	4 582
2010	9900	5 912
2011	12100	6 679
2012	14900	7 517
2013	15100	8 202

Составлено автором. Источник: Energy datasheets : EU28 countries.

URL:https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx (дата обращения 14.09.2017)

Таблица Е4 - Уравнение производственной функции технологий морских ВЭУ Франции

Франция	$\ln(\text{Prod}) = -0.064 + 1.075 \ln(\text{POW}), \quad R^2 = 0.989,$ $\text{Prob}(F) = \text{Prob}(t) = 0$
---------	---

Рассчитано и составлено автором

Исходные данные о проектах плавучих ВЭУ Франции по годам приведены в таблице 4.3 основного текста. Установленную мощность проектов (POW) можно собрать по годам и с помощью производственной функции пересчитать в значения выработки (PROD)

Таблица Е5 - Данные расчета динамики выработки электроэнергии плавучими ВЭУ Франции

	POW (МВт)	ln(Prod)	PROD (МВт-ч)
2017	2	0.6809207	1.9757
2018	28	3.5184596	33.7324

2019	36.6	3.8064476	44.9903
2020	84.6	4.7073504	110.758
2021	108.6	4.9758701	144.875

Рассчитано и составлено автором

Зная динамику LCOE и динамику производства электроэнергии, можно оценить кривые обучения для плавучих ВЭУ Франции (табл. Ж6)

Таблица Е6 -Уравнения кривых обучения технологий плавучих ВЭУ Франции

$\ln(LCOE_{min}) = 5.72663 - 0.23 \ln(Prod), R^2 = 0.872, Prob(t) = Prob(F) = 0.02$
$\ln(LCOE_{max}) = 5.615 - 0.12083 \ln(Prod), R^2 = 0.863, Prob(t) = Prob(F) = 0.022$

Рассчитано и составлено автором

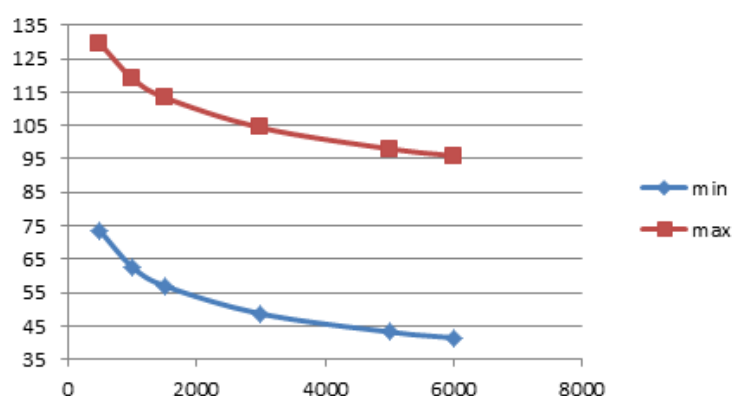


Рисунок Е1 – Графики кривых обучения плавучих ВЭУ Франции
Рассчитано и составлено автором

Таблица Е7 -Таблица прогнозных значений плавучих ВЭУ Франции с 2017 по 2030 (расчеты Excel)

год	Prod (ГВт-ч)	Prod (ГВт-ч)	Pow (МВт)	Pow (МВт)
2017	3.20	2.54	3.14	2.53
2018	19.28	22.08	16.65	18.88
2019	55.09	78.20	44.18	61.20
2020	116.02	191.85	88.33	141.02
2021	206.68	384.75	151.13	269.37
2022	331.45	679.46	234.48	457.14
2023	493.86	1098.47	339.77	714.64
2024	698.10	1665.78	468.80	1052.60
2025	946.99	2406.43	622.51	1481.99
2026	1244.08	3342.31	802.35	2011.59
2027	1591.27	4498.10	1008.75	2651.55

2028	1994.38	5903.06	1244.48	3414.22
2029	2453.94	7572.46	1509.19	4304.13
2030	2972.83	9542.07	1803.94	5336.64

Рассчитано и составлено автором

Приложение Ж.

Таблица Ж1- Подтвержденные проекты плавучих ветровых установок в Великобритании

Название проекта	Год	Мощность МВт
HywindScotland	2017	30
Dounreay Tri	2018	10
Kincardine	2019	48
Atlantis/ IdeolProject	2021	100
DP Energy/ FPP Project	2021	200

Составлено автором. Источник: Floating Offshore Wind Vision Statement. Wind Europe. URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018); Floating Offshore Wind: Market and Technology Review//Carbon Trust. URL:<https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf> (дата обращения 15.02.2018)

Таблица Ж2 - Исходные данные о береговом ветре для построения производственной функции для морских ВЭУ стран БСМ

Годы	Великобритания		Дания		Бельгия		Нидерланды	
	PROD ТВТ-ч	POW МВт	PROD ТВТ-ч	POW МВт	PROD ТВТ-ч	POW МВт	PROD ТВТ-ч	POW МВт
2006	4.2	1 955	6.1	3 136	0.4	212	2.7	1 558
2007	5.3	2 477	7.2	3 124	0.5	276	3.4	1 748
2008	7.1	3 446	6.9	3 163	0.6	324	4.3	2 149
2009	9.3	4 422	6.7	3 482	1.0	608	4.6	2 222
2010	10.3	5 401	7.8	3 802	1.3	912	4.0	2 237
2011	15.7	6 468	9.8	3 952	2.3	1 069	5.1	2 316
2012	19.8	8 899	10.3	4 164	2.8	1 370	5.0	2 433
2013	28.4	11 212	11.1	4 818	3.7	1 780	5.6	2 713
2014	32.0	13 037	13.1	4 886			5.8	2 865
2015	40.3	14 291	14.1	5 075			7.6	3 391

Рассчитано и составлено автором. Источник: Energy datasheets: EU28 countries.

URL:https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx (дата обращения 14.09.2017)

Таблица Ж3 - Уравнения производственных функций морских ВЭУ стран БСМ

Великобритания	$\ln(\text{Prod}) = -0.225 + 1.12 \ln(\text{POW}), \quad R^2 = 0.989,$ $\text{Prob}(F) = \text{Prob}(t) = 0$
Дания	$\ln(\text{Prod}) = -3.277 + 1.497 \ln(\text{POW}), \quad R^2 = 0.916,$ $\text{Prob}(F) = \text{Prob}(t) = 0$

Бельгия	$\ln(\text{Prod}) = 0.348 + 1.04 \ln(\text{POW}), \quad R^2 = 0.775,$ $\text{Prob}(F) = \text{Prob}(t) = 0$
Нидерланды	$\ln(\text{Prod}) = 7.456 + 0.187 \ln(\text{POW}), \quad R^2 = 0.752,$ $\text{Prob}(F) = \text{Prob}(t) = 0.001$

Рассчитано и составлено автором

Таблица Ж4 - Данные расчета динамики выработки электроэнергии морскими ВЭУ стран БСМ

Годы	Великобритания		Дания		Бельгия		Нидерланды	
	POW МВт	PROD ГВт-ч	POW МВт	PROD ГВт-ч	POW МВт	PROD ГВт-ч	POW МВт	PROD ГВт-ч
2009			240.8	138.61				
2010			447.8	350.83				
2011			447.8	350.83				
2012			447.8	350.83				
2013			847.8	912.13	295.2	528.32		
2014			847.8	912.13	511.2	935.81		
2015			847.8	912.13	511.2	935.81	129	4302.5 7
2016			847.8	912.13	511.2	935.81	129	4302.5 7
2017	30	36.06526	847.8	912.13	511.2	935.81	729	5953.7 3
2018	40	49.78051	875.8	957.59	735.2	1366.1 4	1429	6754.7 6
2019	88	120.4146	1275.8	1681.6 7	981.2	1845.0 2	2829	7677.7 9
2020	88	120.4146	2225.8	3868.5 4	1818. 2	3506.7 7	4229	8279.0 9
2021	388	634.6742					4549	8393.1 3
2022							5249	8621.4 8
2023							5949	8826.2 9

Рассчитано и составлено автором

Зная динамику LCOE и динамику производства энергии, можно оценить кривые обучения для морских ВЭУ стран БСМ (уравнения кривых обучения Франции представлены выше, в табл. Е6):

Таблица Ж5 - Кривые обучения технологий морских ВЭУ стран БСМ

Великобритания	$\ln(\text{LCOE}_{min}) = 6.458 - 0.328 \ln(\text{Prod}), \quad R^2 = 0.755,$ $\text{Prob}(t) = \text{Prob}(F) = 0.05$
----------------	---

	$\ln(LCOE_{max}) = 5.718 - 0.073 \ln(Prod), R^2 = 0.867,$ $Prob(t) = Prob(F) = 0.019$
	$\ln(LCOE_{avg}) = 6,024 - 0.178 \ln(Prod), R^2 = 0.794,$ $Prob(t) = Prob(F) = 0.043$
Дания	$\ln(LCOE_{min}) = 8.25 - 0.437 \ln(Prod), R^2 = 0.465,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.03$
	$\ln(LCOE_{max}) = 9.62 - 0.592 \ln(Prod), R^2 = 0.538,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.016$
	$\ln(LCOE_{avg}) = 9.5 - 0.593 \ln(Prod), R^2 = 0.535,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.016$
Бельгия	$\ln(LCOE_{min}) = 8.359 - 0.457 \ln(Prod), R^2 = 0.452,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.068$
	$\ln(LCOE_{max}) = 8.76 - 0.479 \ln(Prod), R^2 = 0.488,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.054$
	$\ln(LCOE_{avg}) = 8.645 - 0.48 \ln(Prod), R^2 = 0.485,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0.055$
Нидерланды	$\ln(LCOE_{min}) = 29.53 - 2.77 \ln(Prod), R^2 = 0.98,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0$
	$\ln(LCOE_{max}) = 13.657 - 0.937 \ln(Prod), R^2 = 0.98,$ $Prob(F) = Prob(t) =$
	$\ln(LCOE_{avg}) = 20.645 - 1.753 \ln(Prod), R^2 = 0.98,$ $Prob(F) = Prob(t) = 0$

Рассчитано и составлено автором

Таблица Ж6 -
Результаты расчета прогнозных оценок плавучего ветра для Великобритании до 2030 года

	min	max	avg	min	max	avg
	PROD ГВт-ч	PRODГВт- ч	PROD ГВт-ч	POW МВт	POW МВт	POW МВт
2017	19.37	24.35	20.76	17.22	21.13	18.32
2018	49.83	52.10	50.51	40.04	41.66	40.52
2019	128.22	111.57	122.94	93.08	82.20	89.65
2020	329.98	238.70	299.14	216.41	162.09	198.26
2021	404.60	489.09	428.49	259.60	307.48	273.24
2022	495.87	1002.22	613.61	311.28	583.36	376.48
2023	607.98	2052.77	879.01	373.40	1106.30	518.90
2024	745.40	4207.27	1258.96	447.89	2099.25	715.07

2025	913.68	8618.80	1803.47	537.13	3981.67	985.56
2026	1129.88	11135.90	2294.95	649.25	5004.87	1222.10
2027	1396.40	14380.20	2918.99	784.36	6287.94	1514.77
2028	1726.39	18574.34	3713.34	947.87	7901.69	1877.82
2029	2135.33	23973.35	4725.43	1145.93	9922.82	2328.57
2030	2639.59	30973.05	6012.83	1384.66	12472.18	2887.29

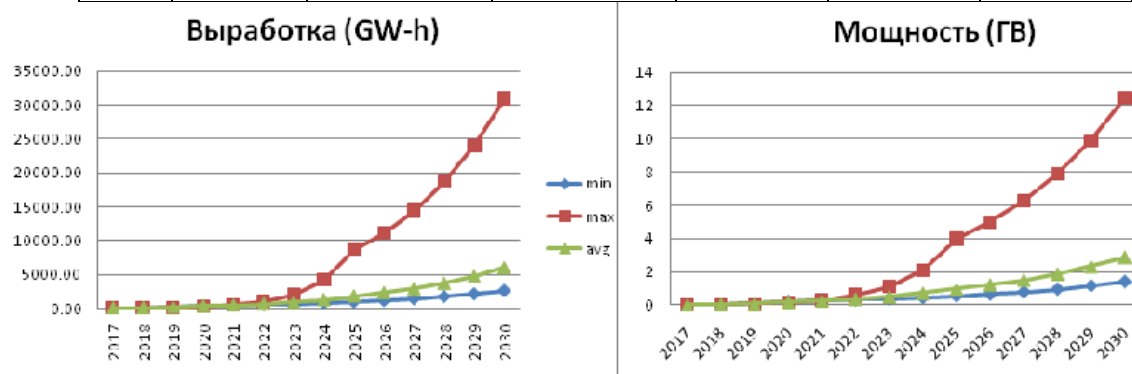


Рисунок Ж1 - Графики прогнозных оценок развития технологий плавучего ветра в Великобритании

Рассчитано и составлено автором

Приложение И.

Таблица И1- Данные об инвестициях в НИОКР, используемые для имитационного расчета прогнозных оценок плавучих ВЭУ стран БСМ

Страна	Период	Мощность МВт	Инвестиции млн. евро
Германия	2012 - 2015	2	18
Португалия	2013 - 2018	8	48.9
Норвегия	2013 - 2016	0.2 - 0.4	5
Великобритания	2013 - 2017	6	25
Франция	2014 - 2016	нет данных	2.1
Франция	2014 - 2018	2	36.3
Франция	2015 - 2018	2	12.3
Франция	2015 - 2018	6	6
Испания	2007 - 2010	нет данных	33.9
Норвегия	2009	2.3	6.9
Испания/Норвегия	2010 - 2015	1.5	19.8
Норвегия	2011	0.015	нет данных
Португалия	2011 - 2014	2	6
Европа	2011 - 2015	нет данных	11.1
Франция	2011 - 2015	2	21.5
Великобритания	2012 - 2015	нет данных	0.2

Составлено автором. Источник: Floating Offshore Wind Vision Statement . Wind Europe. URL: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Floating-offshore-statement.pdf> (дата обращения 24.03.2018)

Жирным шрифтом выделены проекты, которые использованы в дальнейших расчетах. Остальные исключены в силу несоответствия технологической стадии развития проекта проверяемым гипотезам.

Таблица И2 - Пересчет в доллары и интерполяция по годам:

Год	Инвестиции (млн. евро)	Средний курс (долларов за евро)	Инвестиции (млн. долл)
2007	8.475	1.37	11.61
2008	8.475	1.47	12.42
2009	15.375	1.39	21.39
2010	11.775	1.33	15.63
2011	11.32	1.39	15.75
2012	15.87	1.28	20.39
2013	30.27	1.33	40.21
2014	38.23	1.32	50.57
2015	41.305	1.11	45.99
2016	26.935	1.11	29.83
2017	24.985	1.13	28.22
2018	19.985	1.22	24.48

Таблица И3- Уравнение динамики расходов на НИОКР, использованное для экстраполяции

$$\ln(RD) = -0.116 + 1.486 \ln(t), \quad R^2 = 0.61, \quad Prod(F) = Prod(t) = 0.0077$$

Таблица И4 - Кривые обучения имитационных прогнозных оценок плавучего ВЭУ

С учетом расходов на НИОКР	$\ln(LCOE_{avg}) = 6.36 - 0.17 \ln(Prod) - 0.09 \ln(RD),$ $R^2 = 0.955$
	$\ln(LCOE_{max}) = 5.98 - 0.1 \ln(Prod) - 0.05 \ln(RD),$ $R^2 = 0.955$
Без учета расходов на НИОКР	$\ln(LCOE_{avg}) = 6.16 - 0.201 \ln(Prod), \quad R^2 = 0.877$
	$\ln(LCOE_{max}) = 5.87 - 0.108 \ln(Prod), \quad R^2 = 0.877$