

ИССЛЕДОВАНИЕ

Модернизация зависимого от угля электроэнергетического сектора Казахстана за счет возобновляемых источников энергии

Вызовы, решения и сценарии на период до 2030 года и далее

→ Для цитирования:

Agora Energiewende (2024): Модернизация зависимого от угля электроэнергетического сектора Казахстана за счет возобновляемых источников энергии. Вызовы, решения и сценарии на период до 2030 года и далее.

Исследование

Модернизация зависимого от угля электроэнергетического сектора Казахстана за счет возобновляемых источников энергии. Вызовы, решения и сценарии на период до 2030 года и далее.

Текст

Agora Energiewende
10178 Берлин | Анна-Луиза-Карш-Штрассе, 2
Германия
Тел.: +49 (0)30 700 14 35-000
www.agora-energiewende.org
info@agora-energiewende.de

Партнеры проекта

Open Energy Transition gGmbH (OET)
95448 Байройт | Кенигсгаллее, 52
Германия
www.openenergytransition.org
info@openenergytransition.org

QAZAQ GREEN
010000 Астана | ул. Александра Княгинина, 11
Казахстан
Тел.: +7 (702) 939-93-95
www.qazaqgreen.kz
info@spaq.kz

ECOJER

010000 Астана | ул. Конаева, 10
Казахстан
Тел.: +7 (7172) 610-145, +7 (7172) 610 149
www.ecojer.kz
info@ecojer.kz

Руководитель проекта

Татьяна Ланьшина, к.э.н.
tatiana.lanshina@agora-energiewende.de

Авторы

Татьяна Ланьшина, к.э.н. (Agora Energiewende)
Кристиан Редль (Agora Energiewende)
Лонг Нгуен (Agora Energiewende)
Марта Мария Фристаки, Ph.D. (OET)

Благодарности

Мы хотели бы поблагодарить наших коллег Максимилиана Парзена, Ph.D. (OET), Алана Бокаева (ECOJER) и Тимура Шалабаева (QAZAQ GREEN) за их вклад в проведение исследования.

Предисловие

Уважаемый читатель,

Казахстан с его обширными территориями обладает огромным потенциалом для развития дешевой солнечной и ветровой энергетики. По состоянию на середину 2023 г. доля возобновляемых источников энергии с переменным характером выработки в производстве электроэнергии в стране составляла 5%. Национальная цель к 2030 году – увеличить эту долю до 15%. Наше исследование показывает, что Казахстан может добиться и более высоких значений.

Задача данного исследования – представить пути достижения цели 15% ВИЭ к 2030 году, а также пути перевыполнения этой цели. Важно отметить, что представленные в работе сценарии минимизируют системные издержки на уровне сети и обеспечивают надежность энергоснабжения при снижении доли генерации за счет угля – самого углеродоемкого источника энергии, способствуя достижению целей Казахстана в области климата.

Данное исследование также анализирует значительные возможности и преимущества для всего энергетического сектора и экономики в целом, связанные с быстрым увеличением доли переменной возобновляемой энергии. В исследовании также предлагаются варианты решения многочисленных проблем, возникающих на пути перехода к ВИЭ: экономически эффективная интеграция солнечной и ветровой электроэнергии в сеть, необходимая трансформация когенерационных систем, социальная значимость угля и многие другие.

Я надеюсь, что данное исследование внесет вклад в профессиональную дискуссию о модернизации электроэнергетической системы Казахстана, а также станет стимулом для обсуждения данного вопроса в других странах Центральной Азии.

Маркус Штайгенбергер
Управляющий Директор, *Agora Energiewende*

→ Основные выводы:

- 1 **Солнечные фотоэлектрические и ветровые электростанции будут самыми дешевыми источниками электроэнергии в Казахстане в 2030 году для новых генерирующих мощностей.** Согласно всем сценариям, представленным в данном исследовании, в 2030 году приведенная стоимость электроэнергии для новых солнечных и ветровых электростанций будет почти вдвое (на 47-62%) ниже, чем для новых угольных электростанций.
- 2 **Казахстан может минимизировать общие затраты на свою электроэнергетическую систему при сокращении доли угля в генерации с нынешних 67% до 45% к 2030 году.** Такой сценарий позволит Казахстану добиться частичной декарбонизации энергетики, необходимой для достижения цели по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 году, и станет важной вехой на пути к углеродной нейтральности к 2060 году.
- 3 **Ключевыми элементами успешной трансформации энергетического сектора Казахстана являются ускоренное развитие возобновляемой энергетики, укрепление и расширение сетей, зеленый водород, технологии хранения энергии.** Реализация таких обсуждаемых в стране идей, как замещение угля газом и чистые угольные технологии, будет отвлекать инвестиции от эффективного достижения углеродной нейтральности.
- 4 **Страна срочно нуждается в долгосрочном плане постепенного отказа от угля, а также в более сбалансированном и комплексном подходе к энергетическому планированию в целом.** Такой подход должен поставить в центр преобразований самые низкочастотные технологии (ветровую и солнечную энергетику) и постепенно интегрировать зеленую электроэнергетику с отопительным и транспортным секторами.

Содержание

Предисловие	3
Введение: Энергетический переход Казахстана на перепутье	5
1 Методология, предпосылки, исходные данные и сценарии	8
2 Результаты моделирования: сценарии 2030	13
2.1 Мощности и структура генерации	13
2.2 Выбросы CO ₂	17
2.3 Экономические системные затраты	17
2.4 Принудительное ограничение выработки, хранение, диспетчеризация и передача электроэнергии	21
3 Перспективы до 2030 года и дальше: траектория энергетического перехода в Казахстане	25
3.1 Глобальные энергетические тренды: масштабное внедрение ВИЭ и электрификация	25
3.2 На пути к более комплексной энергетической политике Казахстана	27
4 Интенсификация энергетического перехода	31
4.1 Балансирование переменных ВИЭ	31
4.2 Модель электроэнергетического рынка	36
4.3 Трудное решение о постепенном отказе от угля	39
5 Хрупкий лед на пути к декарбонизации электроэнергетики	44
5.1 Переход от угля к газу	44
5.2 Переход от угля к «зеленому» углю	46
6 Заключение	48
Глоссарий	52
Список использованных источников на русском языке	54
Список использованных источников на английском языке	58
Выходные данные публикации	63

Введение: Энергетический переход Казахстана на перепутье

За последние три десятилетия электроэнергетический сектор Казахстана претерпел значительные изменения. Вертикально интегрированная государственная монополия была упразднена, произошло разделение генерации, передачи и распределения электроэнергии. Многие генерирующие и распределительные компании были приватизированы. Была внедрена мультирыночная модель, состоящая из рынка двусторонних долгосрочных контрактов, спотового рынка, балансирующего рынка, рынка системных и вспомогательных услуг, а также рынка мощности. Совершенно с нуля началось развитие переменных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – ветровой и солнечной энергии. К 2030 году их доля в генерации должна вырасти до 15%, а к 2050 году вместе с другими возобновляемыми и альтернативными источниками энергии – до 50%. На этом пути были серьезные отступления, такие как снижение доли частной собственности в генерации, возрождение чрезмерного государственного контроля, длительная задержка запуска балансирующего рынка. Из-за этих отступлений в 2017 году Всемирный банк охарактеризовал энергетический сектор Казахстана как «застывший в переходном периоде».¹ Кроме того, после распада СССР страна так и не смогла привлечь инвестиции и модернизировать устаревшие сети и электростанции, что в настоящее время представляет серьезную угрозу стабильности электроснабжения. Несмотря на это, Казахстан часто называли и продолжают называть лидером реформ электроэнергетического рынка среди стран бывшего СССР и особенно Центральной Азии.

С точки зрения климатической политики Казахстан также занимает лидирующие позиции в своем регионе. В декабре 2020 года президент страны Касым-Жомарт Токаев заявил, что страна достигнет углеродной нейтральности к 2060 году.² В 2023 году была принята Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года.³ В документе даже отмечается, что «позапный вывод казахстанской экономики из угольной зависимости важен для низкоуглеродного развития и достижения углеродной нейтральности». Однако ни в этой стратегии, ни в других официальных документах не содержится четкого намерения когда-либо отказаться от угля, отсутствуют также возможные сроки такого отказа. Более того, многие устаревшие угольные электростанции могут быть модернизированы или заменены на новые угольные или газовые мощности, что затруднит достижение углеродной нейтральности к 2060 году. Согласно официальным данным из упомянутой Стратегии достижения углеродной нейтральности, в 2020 году на энергетический сектор Казахстана приходилось почти 78% выбросов парниковых газов с учетом сектора «Землепользование, изменения в землепользовании и лесном хозяйстве» (ЗИЗЛХ), а уголь обеспечил более 55% чистых национальных выбросов.⁴

Официальная риторика в отношении энергетического перехода в Казахстане также свидетельствует о том, что страна находится на перепутье. В отличие от ситуации десятилетней давности, ключевые лица, принимающие

¹ Всемирный банк (2017). Опыт реформирования и предстоящие задачи в энергетической отрасли Казахстана. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/kazakhstan/publication/kazakhstan-power-sector-note>.

² Саммит по климатическим амбициям (2020). Касым-Жомарт Токаев Президент Казахстана. URL: <https://www.climateambitions Summit2020.org/ondemand.php>.

³ Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>.

⁴ Там же.

решения, уже не отрицают важность возобновляемой энергетики и необходимость ее развития. Президент Казахстана заявлял, что страна может стать мировым центром возобновляемой энергетики, а угольные электростанции должны быть полностью выведены из эксплуатации к 2050 году. В то же время премьер-министр Алихан Смаилов отмечал, что структура производства электроэнергии в стране в ближайшее время не претерпит существенных изменений (Таблица 1).

Средний возраст парка угольных электростанций в Казахстане превышает отметку в 50 лет, что делает все более очевидной необходимость модернизации энергосистемы. Закономерно возникает важный вопрос: будет ли эта модернизация сосредоточена на «латании дыр» в попытке сохранить старые проверенные технологии на основе ископаемого топлива? Или же необходимость модернизации будет использована Казахстаном в качестве возможности уйти от устаревших и вредных для окружающей среды технологий и создать современную и перспективную энергосистему, которая станет примером для всей Центральной Азии?

Очевидно, что Казахстан нуждается в международном сотрудничестве в области зеленой энергетики, что следует из приведенных выше официальных заявлений (Таблица 1), а также из недавней встречи Президента Республики Казахстан Касым-Жомарта Токаева с Федеральным Президентом Германии Франком-Вальтером Штайнмайером, в ходе которой Токаев предложил немецким компаниям инвестировать в зеленую энергетику.⁵

Из приведенных высказываний заметно несоответствие между амбициозными целями и некоторыми уже достигнутыми результатами, с одной стороны, и отсутствием действий и политической воли, направленных на достижение гораздо больших результатов в долгосрочной перспективе, с другой стороны. Поэтому целью данного исследования является информирование участников дискуссии через оценку возможных сценариев. В исследовании представлены сценарии развития ВИЭ в Казахстане до 2030 года: сценарий «бизнес как обычно», предполагающий достижение запланированной в настоящее время 15%-й доли переменных ВИЭ в генерации к 2030 году, и три более амбициозных, но все же реалистичных сценария, допускающих несколько большую долю ВИЭ при постепенном сокращении доли угольной генерации до 45% и, таким образом, выводящих Казахстан на путь осуществления своего определяемого на национальном уровне вклада (ОНУВ) в реализацию Парижского соглашения к 2030 году и достижения углеродной нейтральности к 2060 году. В докладе также проводится анализ, к каким результатам с точки зрения выбросов парниковых газов и затрат может привести более смелая политика в области возобновляемых источников энергии до 2030 года; как отсутствие определенности в планах Казахстана по постепенному отказу от угля соотносится с международной концепцией энергетического перехода до 2050-2060 гг. и далее; каким образом Казахстан может преодолеть огромные препятствия на пути энергетического перехода для достижения углеродной нейтральности к 2060 году.

⁵ Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Президенты Казахстана и Германии провели переговоры в расширенном формате. URL: <https://www.akorda.kz/ru/prezidenty-kazahstana-i-germanii-proveli-peregovory-v-rasshirennom-formate-2052556>.

Высказывания ключевых должностных лиц Казахстана о перспективах энергетического перехода

→ Таблица 1

Дата	Мероприятие	Спикер	Цитата
8 июня 2023 года, Астана	Международный форум Астана	Касым-Жомарт Токаев, Президент Республики Казахстан	«Наша страна могла бы предложить огромные возможности «зеленой» экономики и стать центром возобновляемой энергетики. Однако время не на нашей стороне. Для декарбонизации и создания «зеленой» экономики с необходимой скоростью нам нужны ресурсы и партнерские отношения». ⁶
8 ноября 2022 года, Шарм-эль-Шейх	Саммит мировых лидеров, COP27	Алихан Смаилов, Премьер-Министр Республики Казахстан	«У Казахстана есть потенциал стать одним из мировых центров «зеленой» энергетики. Поэтому мы готовы выступать в качестве регионального центра развития возобновляемых источников энергии и в целом стимулировать переход Центральной Азии к «зеленым» технологиям». ⁷
18 октября 2022 года, Астана	Заседание Правительства под председательством Премьер-Министра Республики Казахстан Алихана Смаилова	Алихан Смаилов, Премьер-Министр Республики Казахстан	В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению генерации электроэнергии за счет возобновляемых источников, однако более 80% производимой электроэнергии по-прежнему приходится на ископаемое топливо. «В ближайшей перспективе существенного изменения этого соотношения в отрасли [электроэнергетики] не произойдет. При этом ставка будет делаться на применение современных технологий по улавливанию и утилизации углекислого газа, снижению выбросов в атмосферу». ⁸
13 сентября 2022 года, Алматы	Первый Центрально-Азиатский форум по чистой энергетике (CACEF)	Жандос Нурмаганбетов, Вице-Министр Энергетики Республики Казахстан	«Энергетика Казахстана традиционно работает, в основном, на угле, и доля потребления угля достаточно большая. Мы ее никуда из баланса выкидывать не будем. Более того, мы хотим нарастить новые угольные блоки и модернизировать те угольные станции, которые у нас есть». ⁹
13 октября 2021 года, Нур-Султан (в настоящее время Астана, столица Казахстана)	Международная конференция «Пути достижения целей Парижского соглашения и углеродной нейтральности Казахстана»	Касым-Жомарт Токаев, Президент Республики Казахстан	«Согласно проекту [Доктрины (стратегии) достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года], к 2050 году все угольные электростанции [в Казахстане] будут выведены из эксплуатации. К 2060 году доля возобновляемых источников энергии достигнет более 80% от общего энергобаланса страны». ¹⁰
26 мая 2021 года, онлайн	Онлайн-совещание по вопросам развития электроэнергетики	Касым-Жомарт Токаев, Президент Республики Казахстан	«Я сторонник, причем твердый сторонник, развития чистой энергетики, и в целом зеленых технологий. Поддерживаю строительство электростанций с использованием возобновляемых источников энергии». ¹¹

Agora Energiewende (2024)

- 6 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Выступление Президента Республики Казахстан К.Токаева на пленарной сессии Международного форума Астана. URL: <https://www.akorda.kz/ru/vystuplenie-prezidenta-respubliki-kazahstan-ktokaeva-na-plenarnoy-sessii-mezhdunarodnogo-foruma-astana-851830>.
- 7 Официальный информационный ресурс Премьер-министра Республики Казахстан (2022). Казахстан готов стать региональным центром развития возобновляемых источников энергии – Алихан Смаилов. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/kazahstan-gotov-stat-regionalnym-centrom-razvitiya-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-alihan-smailov-8101253>.
- 8 Официальный информационный ресурс Премьер-министра Республики Казахстан (2022). Внедрять технологии «чистого угля» и развивать возобновляемую энергетику планируется в Казахстане. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/vnedryat-tehnologii-chistogo-uglya-i-razvivat-vozobnovlyаемую-energetiku-planiruetsya-v-kazahstane-1893523>.
- 9 Zakon.kz (2022). Казахстан и к 2035 году не готов отказаться от угольных электростанций URL: <https://www.zakon.kz/politika/6024684-kazahstan-i-k-2035-godu-ne-gotov-otkazatsia-ot-ugolnykh-elektrostantsii.html>.
- 10 Sputnik (2021). Главы ЕАЭС примут заявление о климатической повестке союза – Токаев. URL: <https://ru.sputnik.kz/20211013/eaes-zayavlenie-klimat-tokae-18399002.html>.
- 11 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2021). Глава государства провел совещание по вопросам развития электроэнергетической отрасли. URL: <https://akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-soveshchanie-po-voprosam-razvitiya-elektroenergeticheskoy-otrasli-2641240>.

1 Методология, предпосылки, исходные данные и сценарии

В данном исследовании проводится моделирование энергосистемы Казахстана в 2030 году с использованием модели с открытым исходным кодом Python for Power System Analysis (PyPSA). Модель демонстрирует, как при различных сценариях можно удовлетворить спрос на электроэнергию за счет комбинации различных традиционных и возобновляемых источников энергии в 2030 году. Модель включает в себя генерацию (электростанции), инфраструктуру передачи электроэнергии и нагрузку (спрос на электроэнергию). Симуляции проводятся с часовым интервалом для 14 узлов, которые представляют регионы Казахстана (административное деление Казахстана изменилось в 2022 году, когда количество административных зон или регионов увеличилось с 14 до 17, но в модели эти данные еще не были полностью обновлены). Модель находится в открытом доступе, включая как математические формулы, так и данные.

Для достижения более точных результатов использованы как стандартные данные PyPSA, так и пользовательские данные. Стандартный набор данных PyPSA-Earth включает в себя сведения о топологии сетей, климатические данные и данные о спросе на электроэнергию. Пользовательские данные содержат информацию об отдельных электростанциях, статистику импорта-экспорта электроэнергии, официальные данные о потреблении электроэнергии в Казахстане, которые используются для тонкой настройки модели.

В таблице ниже (Таблица 2) приведены оценки годовой выработки электроэнергии в Казахстане в разбивке по технологиям, собранные из различных открытых источников и полученные в результате оптимизации с помощью модели PyPSA. Следует отметить, что стандартные предпосылки PyPSA-Earth требуют

тщательного анализа и обновлений для более точного представления электроэнергетической системы Казахстана. Однако предлагаемая модель PyPSA-KZ, которая использует дополнительные данные, собранные при подготовке настоящего исследования (масштабирование спроса, модификация линий электропередачи и добавление экспорта/импорта), значительно улучшает результаты. Как видно из приведенной ниже таблицы (Таблица 2), отклонения PyPSA-KZ от фактических данных из Национального доклада за 2020 год составляют около 1% от общего спроса для каждой технологии.

При подготовке данного исследования были разработаны четыре сценария. Ключевым различием между ними является доля переменных ВИЭ (солнечные фотоэлектрические станции + наземные ветропарки) против доли угля в генерации.

→ **Сценарий «Бизнес как обычно» (BAU).** В этом сценарии доля переменных ВИЭ в электрогенерации достигает около 15%, что соответствует действующим стратегическим документам и целям до 2030 года, в частности цели, поставленной Президентом Республики Казахстан Касым-Жомартом Токаевым в 2021 году,¹² и Энергетическому балансу Республики Казахстан до 2035 года, принятому в 2022 году, с изменениями и дополнениями от 2023 года.¹³

12 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2021). Глава государства провел совещание по вопросам развития электроэнергетической отрасли. URL: <https://akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-soveshchanie-po-voprosam-razvitiya-elektroenergeticheskoy-otrasli-2641240>

13 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 24 марта 2022 г. № 104 «Об утверждении Энергетического баланса Республики Казахстан до 2035 года» (с изменениями от 30.01.2023 г.). URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37351758&pos=4;-90#pos=4;-90.

Годовая выработка (ТВт*ч) – результаты оптимизации

→ Таблица 2

	IRENA ¹⁴	Our World in Data ¹⁵	Национальный доклад ¹⁶	PyPSA-Earth (стандартные данные)	PyPSA-KZ (пользовательские данные)
Год	2020	2020	2020	2020	2020
Уголь	65.44	-	74.47	86.33	74.16
Газ	19.06	-	21.73	7.84	20.44
Гидро	9.66	-	9.51	10.87	11.28
Ветер	1.08	-	1.08	1.67	1.61
Солнце	1.35	-	1.30	1.05	1.06
Всего	96.59	107.80	108.09	107.75	108.56
Описание					Профили спроса масштабированы на основе национального отчета ¹⁷ по каждой административной зоне. Добавлены импорт/экспорт в Россию, Кыргызстан и Узбекистан. Учтены пользовательские данные по электростанциям. Референсный погодный год: 2018.

Agora Energiewende (2024)

14 IRENA (2023). Установленная электрическая мощность (МВт) по странам/районам, технологиям, подключениям к сетям и годам. URL: https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT__Power%20Capacity%20and%20Generation/ELECCAP_2023_cycle2.px/.

15 Our world in data (2023). Energy. URL: <https://ourworldindata.org/energy>.

16 Kazenergy (2021). Национальный энергетический доклад Kazenergy 2021. URL: https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf.

17 Kazenergy (2021). Национальный энергетический доклад Kazenergy 2021. URL: https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf.

→ **Сценарий «Улучшенный бизнес как обычно» (iBAU).** Этот сценарий предусматривает, что доля ВИЭ превысит уровень, предусмотренный действующими стратегическими документами и целями до 2030 года, и достигнет 20%.

→ **Сценарий «Оптимизация структуры генерации по затратам» (ОРТ).** Данный сценарий оценивает, какой объем угольной генерации Казахстана экономически выгодно сократить к 2030 году при условии оптимизации затрат на генерацию, без изменения существующих мощностей линий электропередачи. При этом предполагается, что часть существующих угольных электростанций может быть выведена из эксплуатации и замещена переменными ВИЭ.

→ **Сценарий «Оптимизация структуры генерации и мощностей линий электропередачи по затратам» (ОРТ²).** Данный сценарий оценивает, сколько угольных мощностей экономически выгодно вывести из эксплуатации в Казахстане к 2030 году, при условии оптимизации затрат как на производство, так и на передачу электроэнергии.

В ходе проведения данного исследования также рассматривалась возможность полного отказа от угля в электроэнергетике к 2030 году. В теории, если бы Казахстан решил вывести из эксплуатации все угольные электростанции, перешагнувшие 40-летний рубеж (стандартный срок) эксплуатации, к 2030 году в стране осталось бы всего 12 МВт угольных мощностей, или 0,1% от

сегодняшнего парка.¹⁸ Однако этот сценарий был исключен из результатов исследования, поскольку полный отказ от угля к 2030 году представляется нереалистичным.

Все сценарии предполагают, что к 2030 году в Казахстане произойдет значительный рост генерации и потребления электроэнергии. Ожидаемое увеличение спроса объясняется наблюдаемым демографическим ростом, в первую очередь за счет высокой рождаемости, а также продолжающимся развитием энергоемких отраслей промышленности. Это предположение согласуется с прогнозами Концепции развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года, согласно которым электропотребление к 2030 году увеличится на 18%, а выработка электроэнергии – на 23% по сравнению с 2022 годом.¹⁹

Согласно утвержденному Прогнозному балансу электрической энергии на 2023–2029 гг., дефицит мощности к 2025 году составит 1,4 ГВт. Уже сегодня энергосистема работает в дефицитном режиме, что вынуждает ограничивать потребление электроэнергии промышленными объектами.

В настоящее время Казахстан является нетто-импортером электроэнергии; потребление электроэнергии превышает ее производство на 4%.²⁰ Дефицит электроэнергии покрывается за счет закупок в России, что делает энергетическую систему Казахстана зависимой и создает риски для безопасности энергоснабжения.

В последнее время появились признаки того, что в ближайшие годы в Казахстане могут быть введены значительные новые угольные мощности. К 2029 году государственная компания «Самрук-Энерго» (крупнейший поставщик электроэнергии в Казахстане) намерена построить новую ГРЭС-3 в Экибастузе. Новая электростанция мощностью 1,2 ГВт будет иметь улучшенные экологические характеристики (более низкие выбросы). Кроме того, компания планирует завершить строительство двух новых энергоблоков на ГРЭС-2, также расположенной в Экибастузе: блок № 3 – к 2026 году, блок № 4 – в 2027 году. Мощность каждого блока составит 636 МВт. В дальнейшем они могут быть дополнены еще двумя блоками.²¹ Кроме того, в 2024 году на Экибастузской ГРЭС-1 планируется ввести в эксплуатацию восстановленный энергоблок № 1 мощностью 500 МВт.²² Все перечисленные мощности будут работать на угле. Таким образом, объем новой угольной генерации, планируемой к строительству до 2030 года, превышает 4 ГВт. Следует отметить, что по всем угольным электростанциям, кроме энергоблока № 1 Экибастузской ГРЭС-1 мощностью 500 МВт, еще не принято окончательное инвестиционное решение. Помимо этого, в настоящее время ведутся работы по переводу некоторых угольных электростанций на природный газ. Учитывая все эти тенденции, мы предполагаем, что в сценариях ВАУ и iBAU суммарные угольные мощности не будут увеличиваться до 2030 года.

Сценарии не предполагают производство атомной электроэнергии в 2030 году, несмотря на возможность появления атомной электростанции в стране. Вопрос о строительстве первой коммерческой атомной электростанции в Казахстане в настоящее

18 Agora Energiewende (2023). От угля к возобновляемым источникам энергии: переход в энергетическом секторе Казахстана. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022_09_INT_Kazakhstan/A-EW_295_Kazakhstan_EN_WEB.pdf.

19 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

20 Там же.

21 Kazinform (2023). Стали известны сроки строительства ГРЭС-3 в Экибастузе. URL: https://www.inform.kz/ru/stali-izvestny-sroki-stroitelstva-gres-3-v-ekibastuze_a4028889.

22 Inbusiness (2023). В Экибастузе обещают построить ГРЭС-3 до 2029 года. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-obeshayut-postroit-gres-3-do-2029-goda>.

время является весьма спорным. Одни эксперты выступают за строительство стандартной АЭС, другие – за строительство малых модульных реакторов. В то же время многие граждане и эксперты высказывают свои опасения по поводу безопасности АЭС и выступают против ее строительства. В сентябре 2023 года Президент Республики Казахстан Касым-Жомарт Токаев даже предложил провести общенациональный референдум, чтобы решить, будет ли в стране построена АЭС.²³ Однако с референдумом или без него, АЭС не появится в Казахстане раньше 2030 года. Строительство реакторов занимает порядка 5–10 лет²⁴. При этом чаще на строительство уходит десять лет, а не пять. Кроме того, Прогнозный баланс электрической энергии Единой энергосистемы Казахстана до 2035 года предполагает появление АЭС только в 2032 году.²⁵

Данное исследование не предполагает значительного развития электротранспорта и технологий Power-to-X (PtX или P2X)²⁶ в Казахстане к 2030 году в связи с тем, что в настоящее время эти отрасли делают в стране лишь первые шаги. В 2022 году общее количество электромобилей составило 451 единицу, или 0,01% от всего рынка легковых автомобилей. Согласно Концепции развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до

2035 года, к 2030 году их количество составит 6 267. При этом они будут потреблять всего 21,3 ГВт*ч, или 0,014% всей электроэнергии.²⁷ В 2021 году правительство Казахстана и немецко-шведская группа Svevind Energy подписали соглашение о строительстве в Мангистауской области парка солнечных фотоэлектрических и ветровых установок для выработки 40 ГВт возобновляемой электроэнергии и использования ее для производства зеленого водорода. Однако начало производства ожидается только в 2030 году, а в полную силу парк начнет работать в 2032 году.²⁸ И этот водород будет поставляться в Европу. Внедрение других технологий P2X в Казахстане пока даже не обсуждается, за исключением, пожалуй, тепловых насосов (power-to-heat или P2H), внедрение которых также идет очень медленно.

В данном исследовании расчеты проводились на основе погодных данных за 2018 год. Авторы также рассмотрели погодные данные за 2011 и 2013 годы, однако их влияние на результаты исследования оказалось незначительным. Поэтому для окончательных расчетов были приняты данные за 2018 год.

Предполагаемая средневзвешенная стоимость капитала (WACC²⁹) составляет 15%. Это ниже базовой ставки, действовавшей на момент подготовки данного исследования (16%³⁰), но авторы надеются, что к 2030 году

23 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана». URL: <https://www.akorda.kz/en/president-kassym-jomart-tokayevs-state-of-the-nation-address-economic-course-of-a-just-kazakhstan-283243>.

24 World Nuclear Association (2020). Median construction times for reactors since 1981. URL: <https://www.world-nuclear.org/gallery/world-nuclear-performance-report-gallery/median-construction-times-for-reactors-since-1981.aspx>.

25 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 24 марта 2022 г. № 104 «Об утверждении Энергетического баланса Республики Казахстан до 2035 года» (с изменениями от 30.01.2023 г.). URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37351758&pos=4;-90#pos=4;-90.

26 Технологии power-to-x предусматривают преобразование электроэнергии в прочие энергоносители: газы (например, зеленый водород), жидкости (синтетическое топливо) или тепло. Этот термин охватывает большое количество технологий.

27 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

28 Forbes (2023). Проект на \$50 миллиардов: как в Казахстане будут производить «зелёный» водород. URL: https://forbes.kz/economy/energy-subsoil/kak_v_kazahstane_realizuyut_proekt_po_proizvodstvu_zelenogo_vodoroda_stoimostyu_50_mlrd/.

29 Средневзвешенная стоимость капитала (WACC) – стоимость капитала, пропорционально взвешенная для каждой категории капитала.

30 Национальный банк Республики Казахстан (2023). График принятия решений по базовой ставке 2015–2023. URL: <https://www.nationalbank.kz/ru/news/grafik-prinyatiya-resheniy-po-bazovoy-stavke/rubrics/1843>.

базовая ставка значительно снизится, и полная стоимость капитала будет составлять не более 15%, хотя данное значение также является слишком высоким, особенно для капиталоемких новых энергетических технологий. При высокой стоимости капитала возобновляемая энергетика может не выдержать конкуренции с ископаемым топливом. Возобновляемые источники энергии характеризуются очень низкими эксплуатационными расходами, поэтому значительная часть затрат за весь срок службы относится к первоначальным капитальным затратам.³¹

³¹ Agora Energiewende (2019). Unlocking low-cost renewables in South East Europe. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2019/De-risking_SEE/161_Unlocking_SEE_EN_WEB.pdf.

2 Результаты моделирования: сценарии 2030

В данном разделе представлены основные результаты моделирования PyPSA-KZ для 2030 года, включающие в себя данные по мощности и структуре генерации, системным затратам, выбросам CO₂, искусственному ограничению выработки, мощности накопителей, диспетчеризации электроэнергии, мощности линий электропередачи и др.

2.1 Мощности и структура генерации

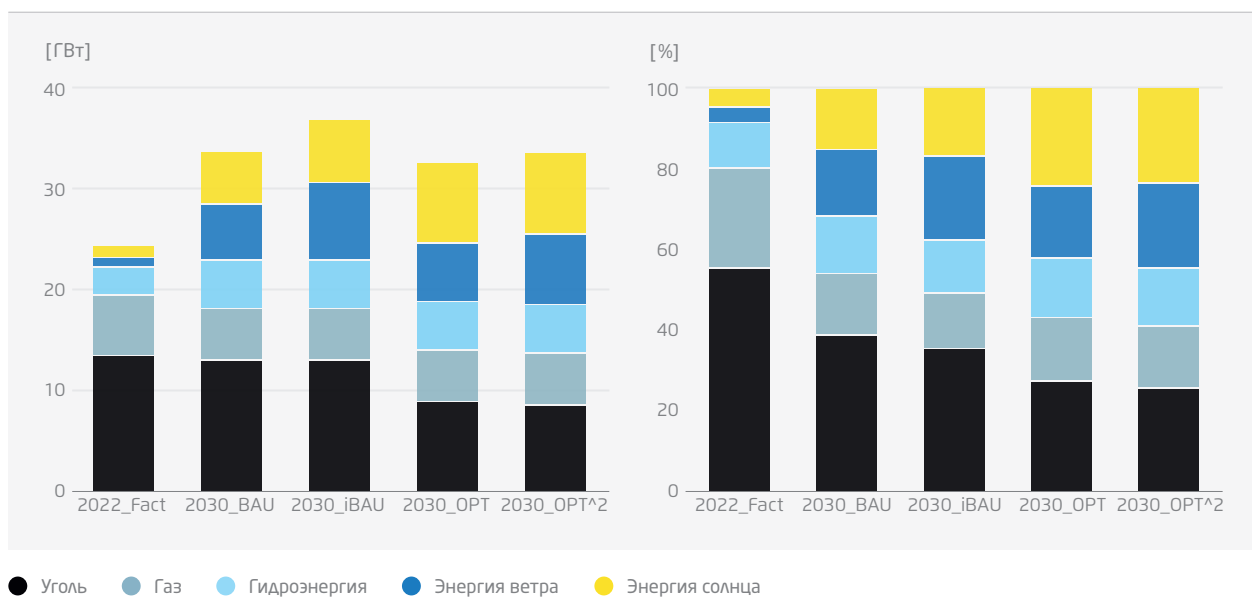
На рисунке ниже (Рисунок 1) показаны установленные мощности по источникам энергии, оптимизированные для каждого сценария, в гигаваттах (ГВт) и в процентах от общей установленной мощности (%). Все сценарии 2030 предполагают значительный общий рост установленной мощности. Одновременно предполагается, что угольные мощности в

абсолютном выражении останутся неизменными или будут снижаться. Также во всех сценариях ожидается заметное снижение доли угля. Если в 2022 году на уголь приходилось более 50% от общей установленной мощности, то в сценариях BAU и iBAU значение этого показателя упадет ниже 40%, а в сценариях OPT и OPT² – даже ниже 30%.

Модель предусматривает, что снижение доли угольных мощностей будет компенсировано ростом доли мощностей ВИЭ, в частности, солнечных и ветровых электростанций (СЭС и ВЭС). Доля СЭС и ВЭС в установленной мощности может увеличиться до пяти раз с нынешних 9%. Даже в самом консервативном сценарии (BAU), предполагающем лишь реализацию существующих целей в области возобновляемой энергетики до 2030 года, произойдет заметная диверсификация

Структура электроэнергетических мощностей Казахстана: фактические данные за 2022 год и сценарии 2030

→ Рисунок 1



Kazenergy (2021). Национальный энергетический доклад Kazenergy 2021. URL: https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf, Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 263 «Об утверждении Концепции развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан на 2023–2029 годы». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000263> и Agora Energiewende.

электроэнергетических мощностей, хотя преобладание угля сохранится. Это подчеркивает целесообразность перехода Казахстана к более чистой и устойчивой энергетике. Диверсификация особенно существенна в сценарии ОРТ^2, в котором к 2030 году установленные мощности угольной, солнечной и ветровой энергетики практически сравниваются.

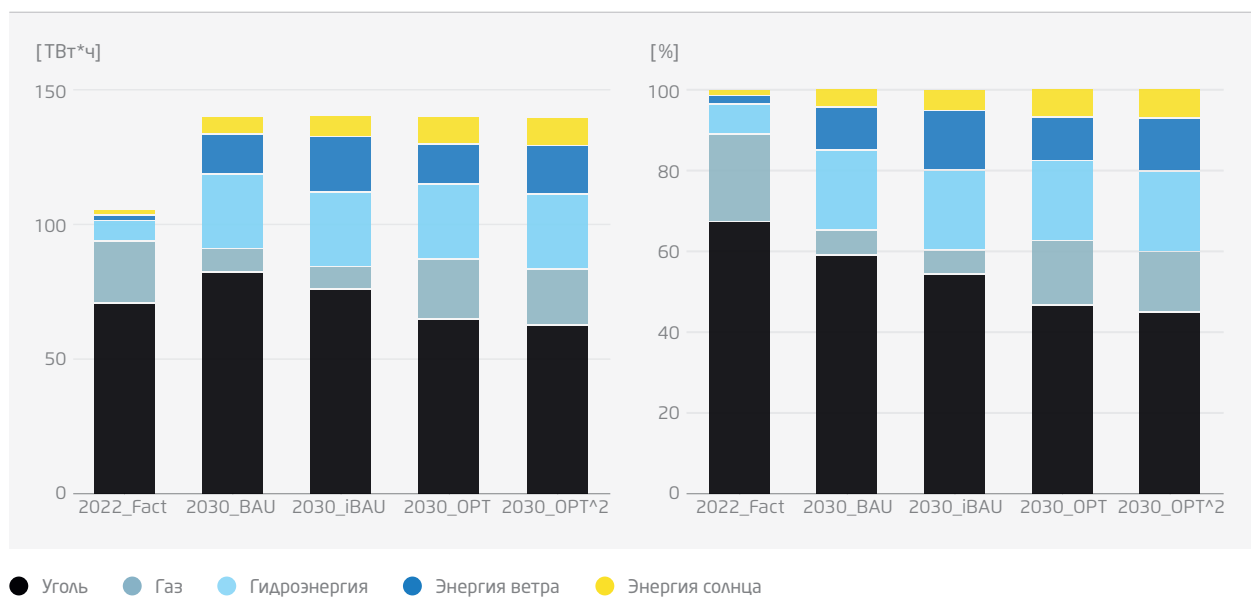
Ожидаемые сдвиги в структуре производства электроэнергии могут быть менее выраженными из-за сравнительно более низких коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ) солнечных и ветровых электростанций по сравнению с тепловыми электростанциями (Рисунок 2). Соответственно, абсолютные объемы угольной генерации могут даже несколько возрасти в сценариях ВАУ и iBAU. Тем не менее, в относительном выражении ожидается коренной перелом: в сценариях ВАУ и iBAU доля

угольной генерации опустится ниже 60%, а в сценариях ОРТ и ОРТ^2 – ниже 50%. Лидером этих изменений станет ветровая энергетика.

Примечательно, что в сценарии с оптимизацией структуры генерации и мощностей линий электропередачи по затратам (ОРТ^2) совокупная доля солнечной и ветровой генерации достигает 20%, как и в сценарии iBAU, а доля производства угольной электроэнергии снижается примерно на девять процентных пунктов (45% в ОРТ^2 против 54% в ВАУ). Это подчеркивает необходимость учета соображений экономической эффективности при формировании национальной энергетической стратегии, а также целесообразность предпочтения солнечной, ветровой и прочей возобновляемой энергии при постепенном снижении зависимости от традиционной угольной генерации.

Структура генерации электроэнергии в Казахстане: фактические данные за 2022 год и сценарии 2030

→ Рисунок 2



Kazenergy (2021). Национальный энергетический доклад Kazenergy 2021. URL: https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf, Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 263 «Об утверждении Концепции развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан на 2023 - 2029 годы». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000263> и Agora Energiewende.

Результаты сценария ОРТ^2 имеют особое значение с точки зрения международных обязательств Казахстана по снижению выбросов парниковых газов (ПГ). Безусловный определяемый на национальном уровне вклад (ОНУВ) в рамках Парижского соглашения обязывает страну к концу 2030 года сократить выбросы ПГ на 15% по сравнению с 1990 годом, с учетом сектора землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Условная цель в рамках ОНУВ обязывает Казахстан сократить выбросы ПГ на 25% к концу 2030 года по сравнению с 1990 годом, в случае поступления значительных дополнительных международных инвестиций и значительной грантовой помощи, предоставления доступа к международному механизму трансферта технологий, софинансирования и участия в международных научно-исследовательских проектах, развития перспективных низкоуглеродных технологий и инициатив для наращивания местного экспертного потенциала.³² Согласно 8-му Национальному сообщению и 5-му двухгодичному докладу Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата, для достижения сокращения выбросов парниковых газов в энергетическом секторе до уровня на 15% ниже уровня 1990 года и, соответственно, выполнения своей безусловной цели, Казахстан должен снизить долю угля в выработке электроэнергии до 40% к 2030 году.³³ **Таким образом, реализация сценария ОРТ^2 позволит не только выбрать наиболее экономически эффективные источники генерации, но и выполнить обязательства Казахстана до 2030 года в рамках Парижского соглашения.**

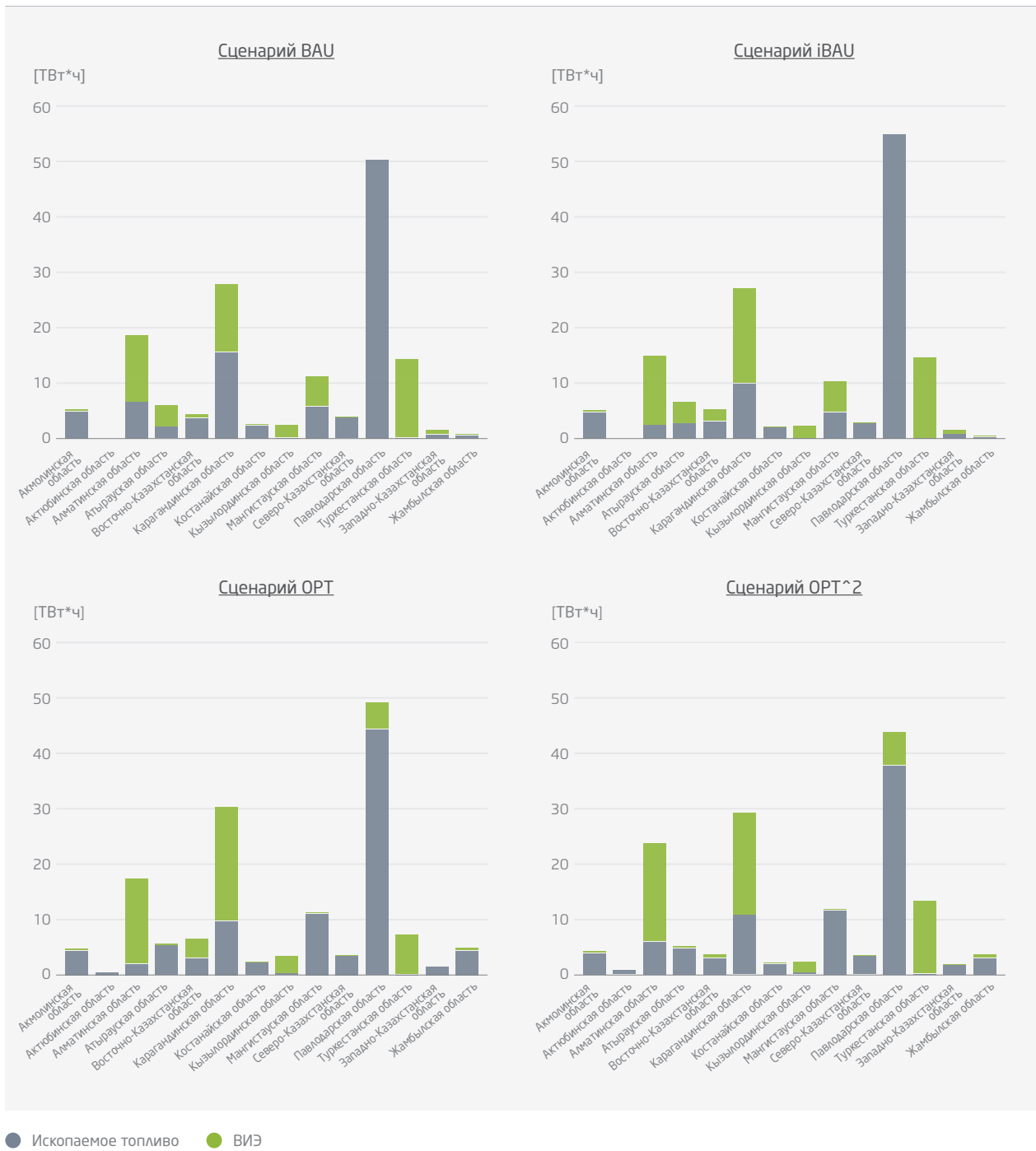
Региональная разбивка результатов сценариев показывает, что для некоторых регионов страны доля ВИЭ в генерации в 2030 году может составить 100% (Туркестанская область) или близко к 100% (Кызылординская область), в то время как во многих других регионах доля ископаемого топлива останется на уровне 100% (Павлодарская, Мангистауская, Актюбинская и др. области) – см. Рисунок 3. Следует отметить, что в регионах, где к 2030 году доля ВИЭ будет близка к 100%, генерация будет включать в себя переменные возобновляемые источники энергии и гидроэнергетику. Ни один регион Казахстана не будет производить электроэнергию практически полностью за счет СЭС или ВЭС к 2030 году.

32 РКИК ООН (2023). Национальный вклад Республики Казахстан в глобальное реагирование на изменение климата (Обновленное издание). URL: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2023-06/12updated%20NDC%20KAZ_Gov%20Decree313_19042023_en_cover%20page.pdf.

33 Восьмое национальное сообщение и пятый двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/8NC_Kazakhstan_2022v1.0.pdf.

Генерация электроэнергии за счет ВИЭ в регионах, включая гидроэнергетику

→ Рисунок 3



Agora Energiewende (2024). Примечание: здесь представлено устаревшее административное деление страны. В 2022 году количество областей Казахстана увеличилось с 14 до 17.

2.2 Выбросы CO₂

Общие выбросы CO₂ в электроэнергетическом секторе Казахстана в сценариях оптимизации затрат (OPT и OPT²) в 2030 году будут ниже, чем в сценариях, в которых существующие целевые показатели по возобновляемым источникам энергии выполнены (BAU) или немного перевыполнены (iBAU), как показано на рисунке ниже (Рисунок 4). Это связано с тем, что в сценариях оптимизации затрат производство электроэнергии за счет угля будет снижаться не только в относительном, но и в абсолютном выражении, а производство возобновляемой электроэнергии значительно возрастет. Основная часть выбросов во всех сценариях приходится на уголь (88–96%), остальная часть – на газ: на парогазовые установки (CCGT³⁴) и в меньшей степени – на турбины открытого цикла

(OCGT³⁵). В географическом плане более половины выбросов CO₂ в электроэнергетике (59–73%) будет осуществляться в Павлодарской области (Рисунок 5), которая также является ведущим угледобывающим регионом страны. Карагандинская область, еще один крупный угледобывающий регион, займет по этому показателю второе место (7–9% всех выбросов), значительно уступая Павлодарской области. Самые низкие выбросы ожидаются в Актюбинской, Кызылординской, Западно-Казахстанской и Жамбылской областях, и их значения варьируются в зависимости от сценария.

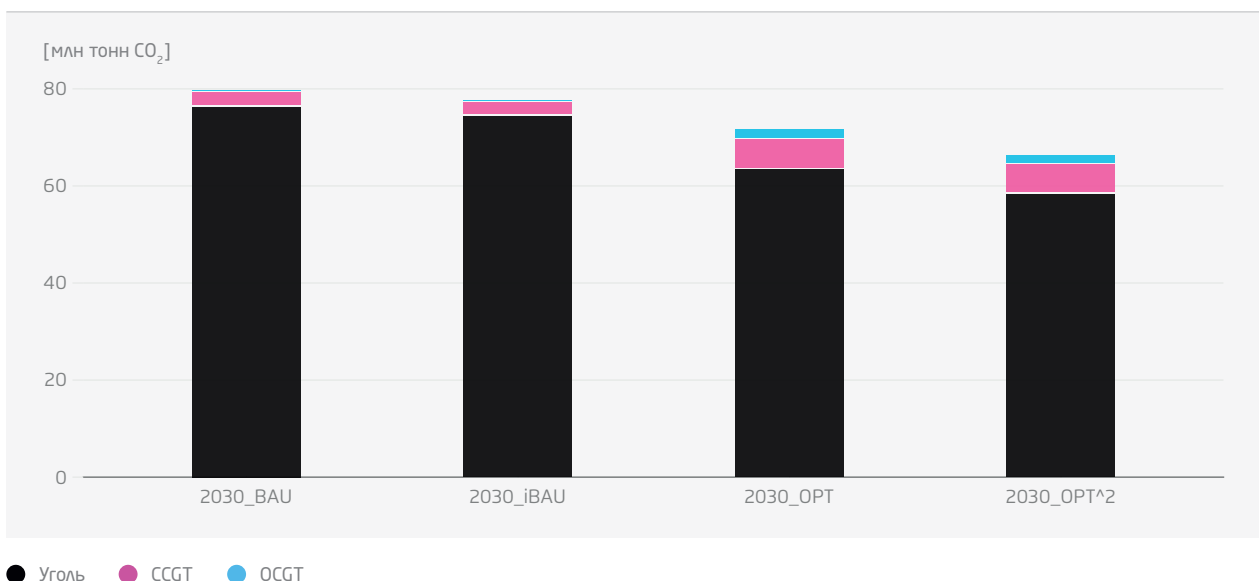
2.3 Экономические системные затраты

Совокупные капитальные затраты в годовом исчислении (CAPEX) для сценария OPT² будут выше, чем для всех остальных

34 Парогазовые установки (CCGT) сочетают в себе функции как газовой, так и паровой турбины. Такие установки используют отработанное тепло выхлопа газовой турбины для производства пара, который приводит в движение паровую турбину.

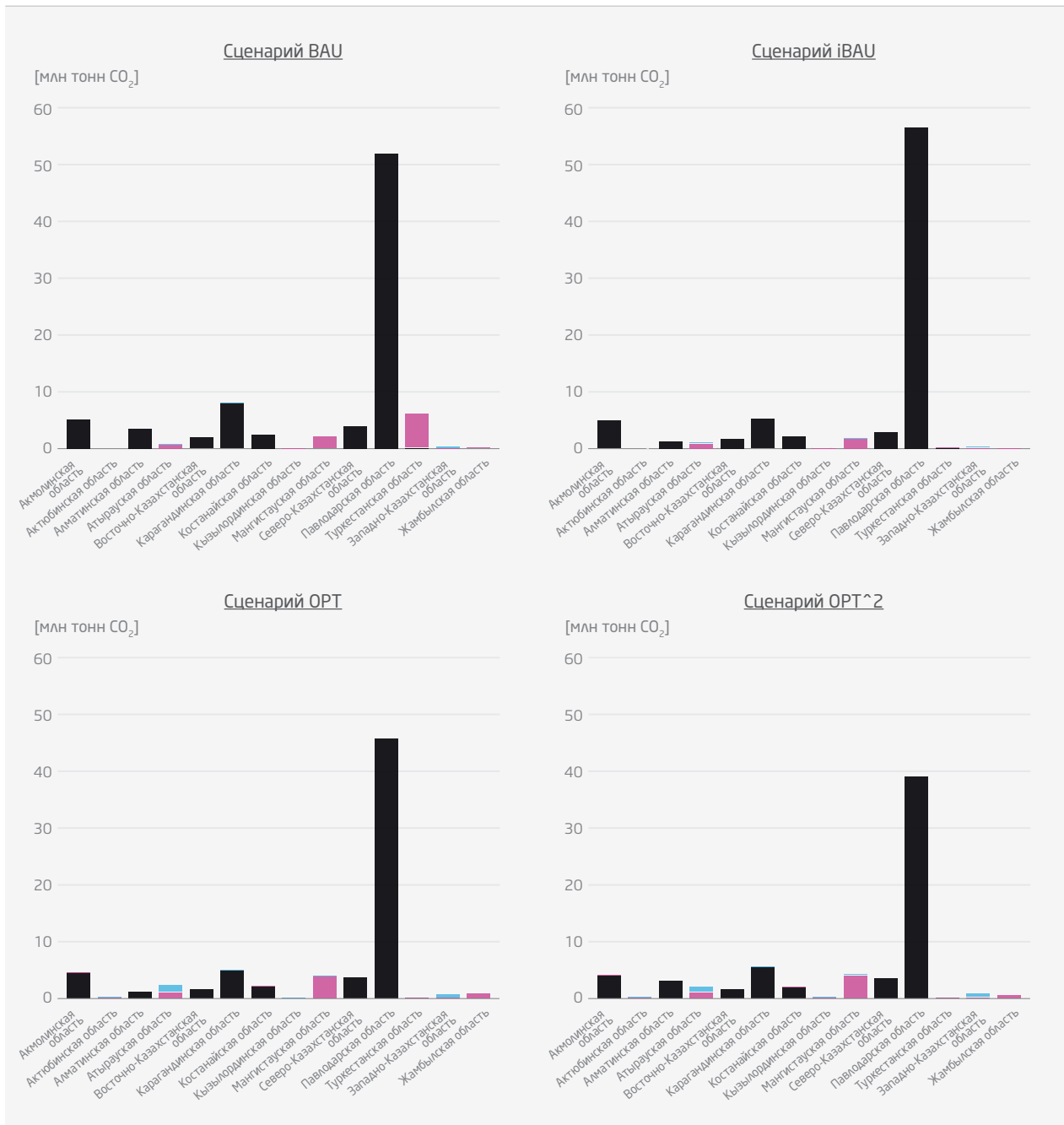
35 Газовые турбины открытого цикла (OCGT) вырабатывают электроэнергию за счет расширения сжатого воздуха и высокотемпературных дымовых газов высокого давления. В установках с открытым циклом отработанные газы выбрасываются в окружающую среду.

Структура выбросов CO₂ в электроэнергетическом секторе Казахстана в 2030 году для каждого сценария → Рисунок 4



Выбросы CO₂ по регионам и по технологиям

→ Рисунок 5



● Уголь ● CCGT ● OCGT

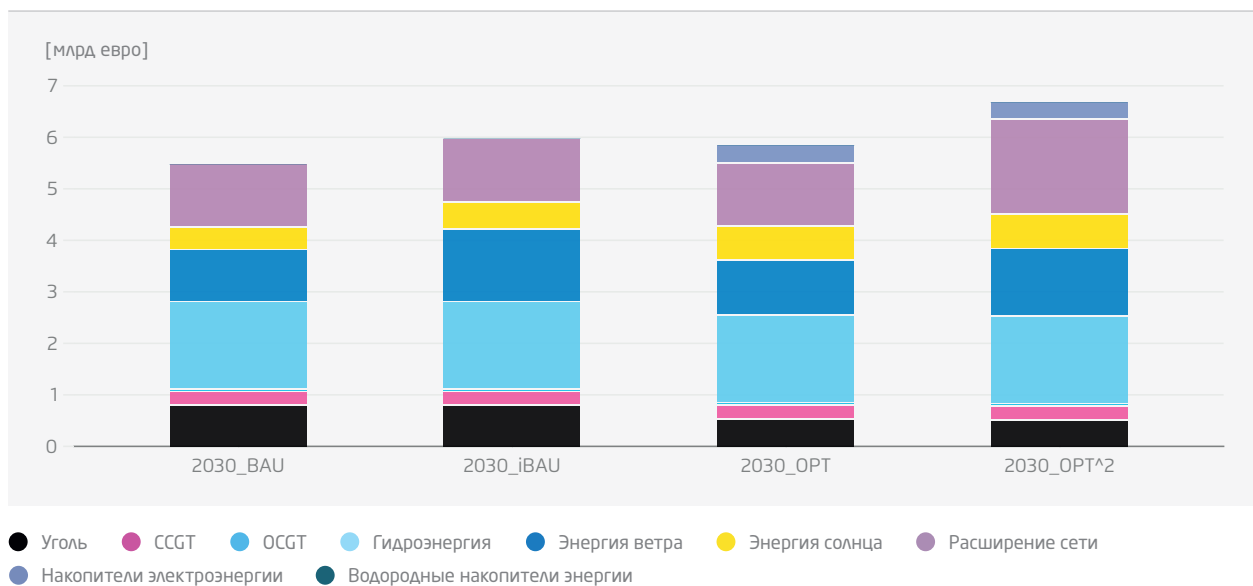
Agora Energiewende (2024). Примечание: здесь представлено устаревшее административное деление страны. В 2022 году количество областей Казахстана увеличилось с 14 до 17.

сценариев, в основном за счет значительно более высоких затрат на расширение сети (Рисунок 6). По сравнению со сценарием BAU, сценарий OPT² будет на 22% более капиталоемким. CAPEX в данном случае

рассчитывается как капитальные затраты в годовом исчислении плюс постоянные расходы на эксплуатацию. Поскольку все угольные электростанции в системе уже амортизированы, и мы не предполагаем

Совокупные капитальные затраты в 2030 году для каждого сценария, в годовом исчислении, по технологиям генерации

→ Рисунок 6



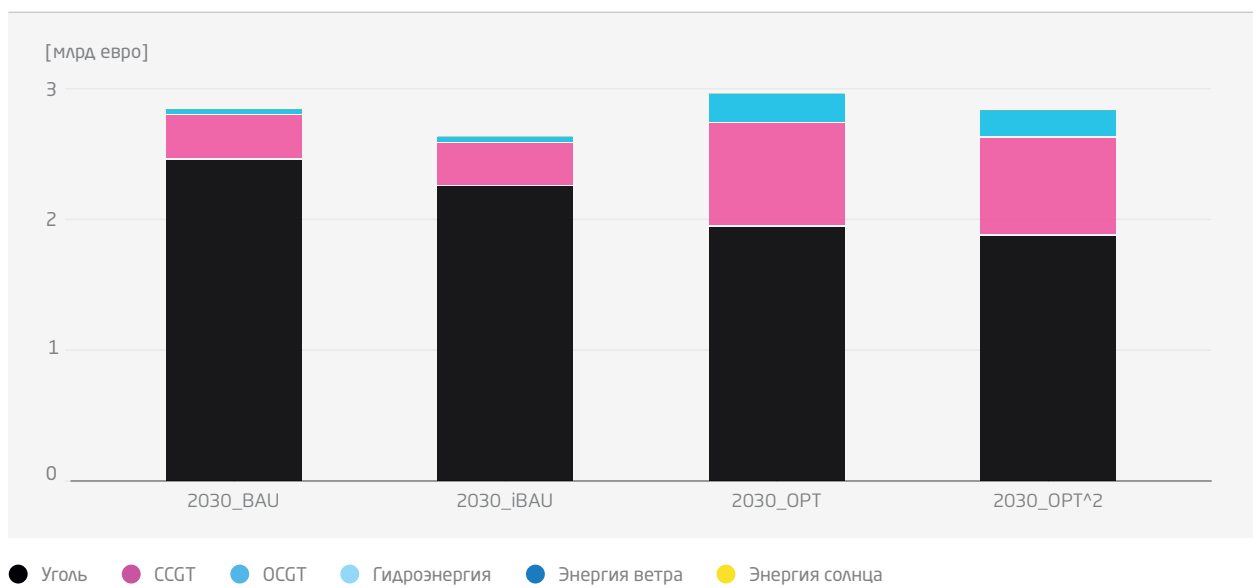
Agora Energiewende (2024)

введения новых мощностей, капитальные затраты угольных электростанций состоят только из постоянных операционных расходов и, соответственно, относительно низки. Следует также отметить, что сценарии OPT и

OPT^2 предполагают введение накопителей электроэнергии, что отражается на величине капитальных затрат.

Совокупные операционные затраты в 2030 году для каждого сценария, в годовом исчислении, по технологиям генерации

→ Рисунок 7



Agora Energiewende (2024)

При анализе эксплуатационных расходов (ОРЕХ), включающих в себя затраты на техническое обслуживание и топливо, можно заметить, что во всех сценариях основной вклад в совокупные эксплуатационные расходы вносят угольные и газовые электростанции (Рисунок 7). Остальные технологии также предполагают расходы на техническое обслуживание, однако их ОРЕХ незначителен по сравнению с традиционными технологиями на ископаемом топливе. Это объясняется высокой стоимостью ископаемого топлива, которое требуется для традиционных технологий и не требуется для электростанций на ВИЭ, а также более высокими расходами на техническое обслуживание электростанций на ископаемом топливе.

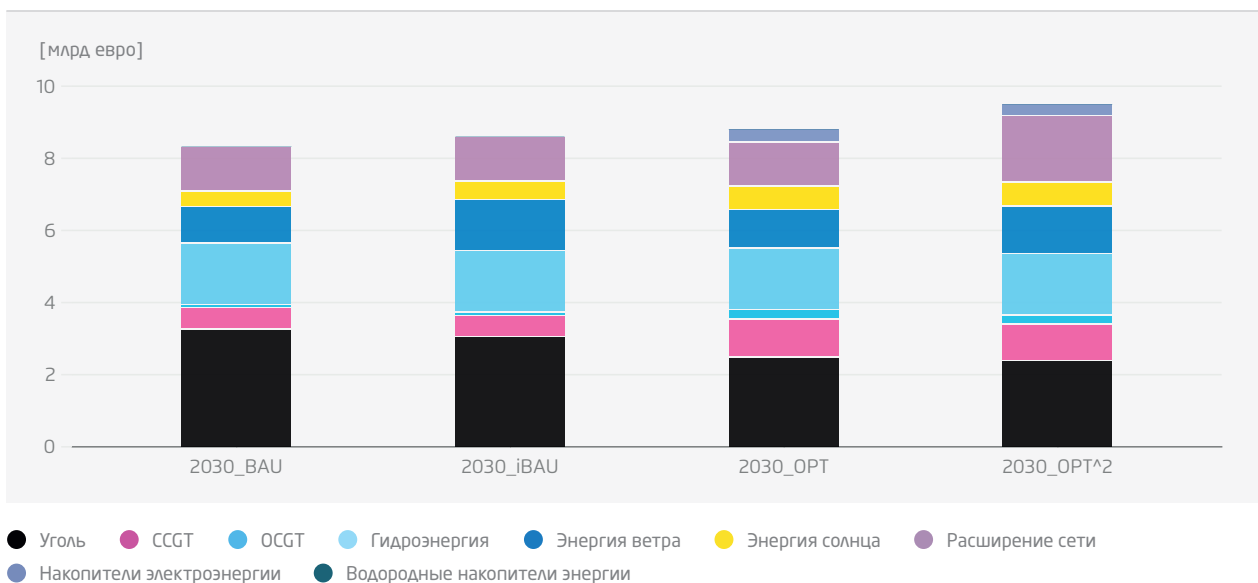
Знание капитальных (CAPEX) и эксплуатационных (ОРЕХ) затрат позволяет рассчитать суммарные экономические системные затраты (ТОТЕХ), которые включают в себя обе указанные категории и охватывают как затраты на генерацию на уровне электростанции, так и затраты на уровне сети. По данному показателю сценарий ОПТ^2 также

является самым дорогим, но не настолько, как если смотреть только на капитальные расходы, – разница составляет 14% по сравнению со сценарием ВАУ (Рисунок 8). Угольная генерация лидирует по совокупным экономическим системным затратам во всех четырех сценариях, с долей от 39% в сценарии ВАУ до 25% в сценарии ОПТ^2.

Приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) для новых солнечных фотоэлектрических и ветровых электростанций в 2030 году во всех сценариях находится на значительно более низком уровне, чем для новых тепловых электростанций. LCOE солнечных фотоэлектрических и ветровых электростанций составляет всего 47–62% от LCOE угольных электростанций. В сценариях с оптимизацией затрат значения LCOE для всех традиционных технологий являются более низкими, чем в сценариях ВАУ и iBAU, что обусловлено оптимизацией затрат. Особенно это касается газовых турбин открытого цикла (ОСГТ), которые в сценариях ВАУ и iBAU оказываются чрезвычайно дорогими из-за низкого количества часов работы (в

Совокупные экономические системные затраты в 2030 году для каждого сценария, в годовом исчислении, по технологиям генерации

→ Рисунок 8



некоторых случаях менее 10% от всего времени, по сравнению с более 80% для угольных электростанций).

2.4 Принудительное ограничение выработки, хранение, диспетчеризация и передача электроэнергии

Сценарии оптимизации затрат характеризуются также многократно меньшими объемами принудительного ограничения выработки переменных ВИЭ, которые особенно велики для ветровой энергии в сценариях ВАУ и iBAU (Рисунок 9). Ограничение выработки электростанций на переменных ВИЭ считается нежелательным, поскольку оно может привести к нерациональному использованию имеющихся возобновляемых энергоресурсов с низкими эксплуатационными расходами, финансовым потерям зеленых генераторов, снижению общей эффективности энергосистемы и негативному влиянию на процесс энергетического перехода. Уже сегодня Министерство энергетики Республики Казахстан рассматривает

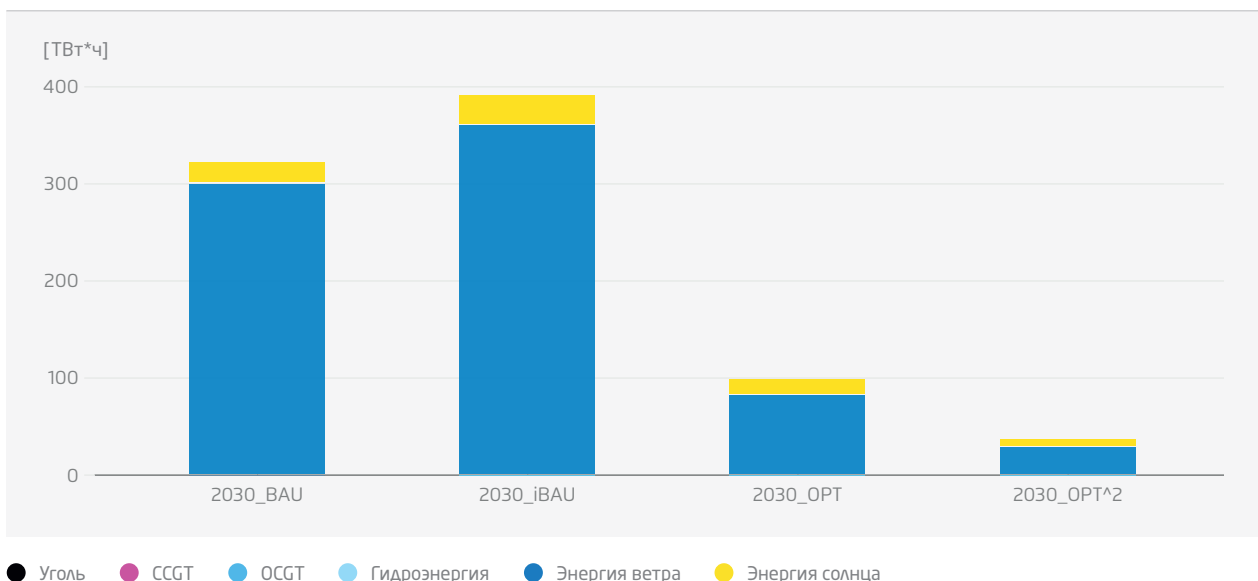
возможность введения мер по принудительному ограничению выработки для новых объектов ВИЭ, чтобы снизить нагрузку на энергосистему, которая испытывает нехватку гибких мощностей для балансировки.

Как уже отмечалось выше, сценарии оптимизации затрат предусматривают строительство больших объемов накопителей электроэнергии, а также небольших объемов водородных хранилищ (Рисунок 10). В сценарии ОРТ мощности накопителей электроэнергии составят 7,22 ГВт*ч, в сценарии ОРТ^2 – 6,44 ГВт*ч. Для сравнения, на конец 2021 года в мире функционировали 56 ГВт*ч накопителей электроэнергии.³⁶ Мощности накопителей электроэнергии и водородных хранилищ в сценариях ВАУ и iBAU близки к нулю. Следует отметить, что в последние два года системный оператор (KEGOC) активно предлагал обязать электростанции

³⁶ BNEF (2022). Global energy storage market to grow 15-fold by 2030. URL: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-to-grow-15-fold-by-2030/>.

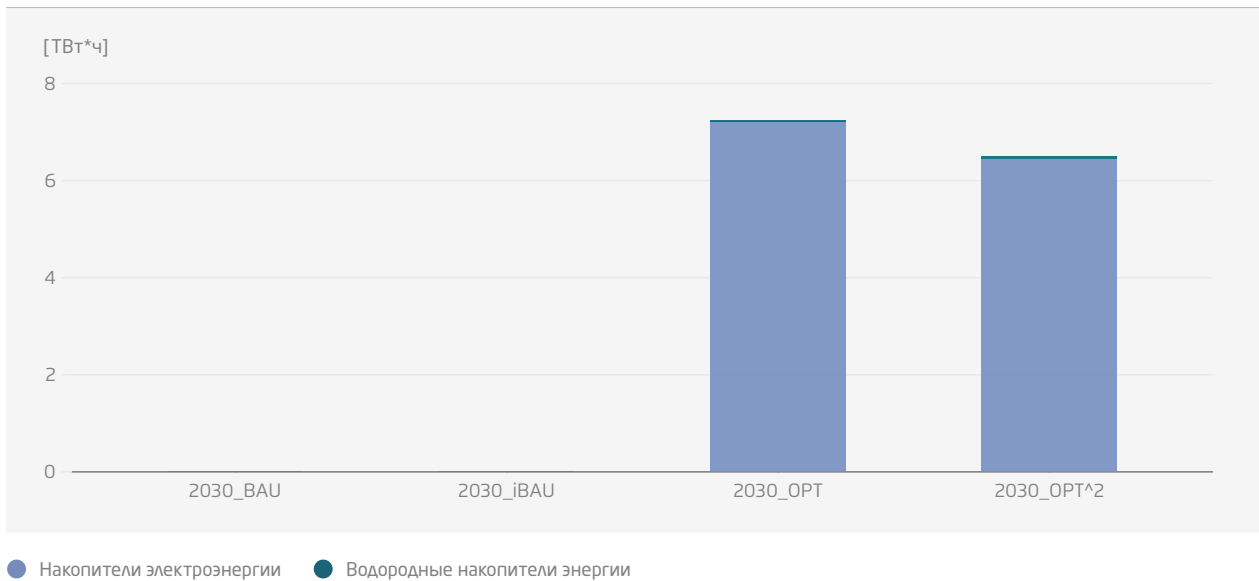
Принудительное ограничение выработки в 2030 году, по технологиям

→ Рисунок 9



Мощности накопителей энергии в 2030 году

→ Рисунок 10



Agora Energiewende (2024)

на переменных ВИЭ устанавливать системы хранения энергии, покрывающие 50% их установленной мощности.

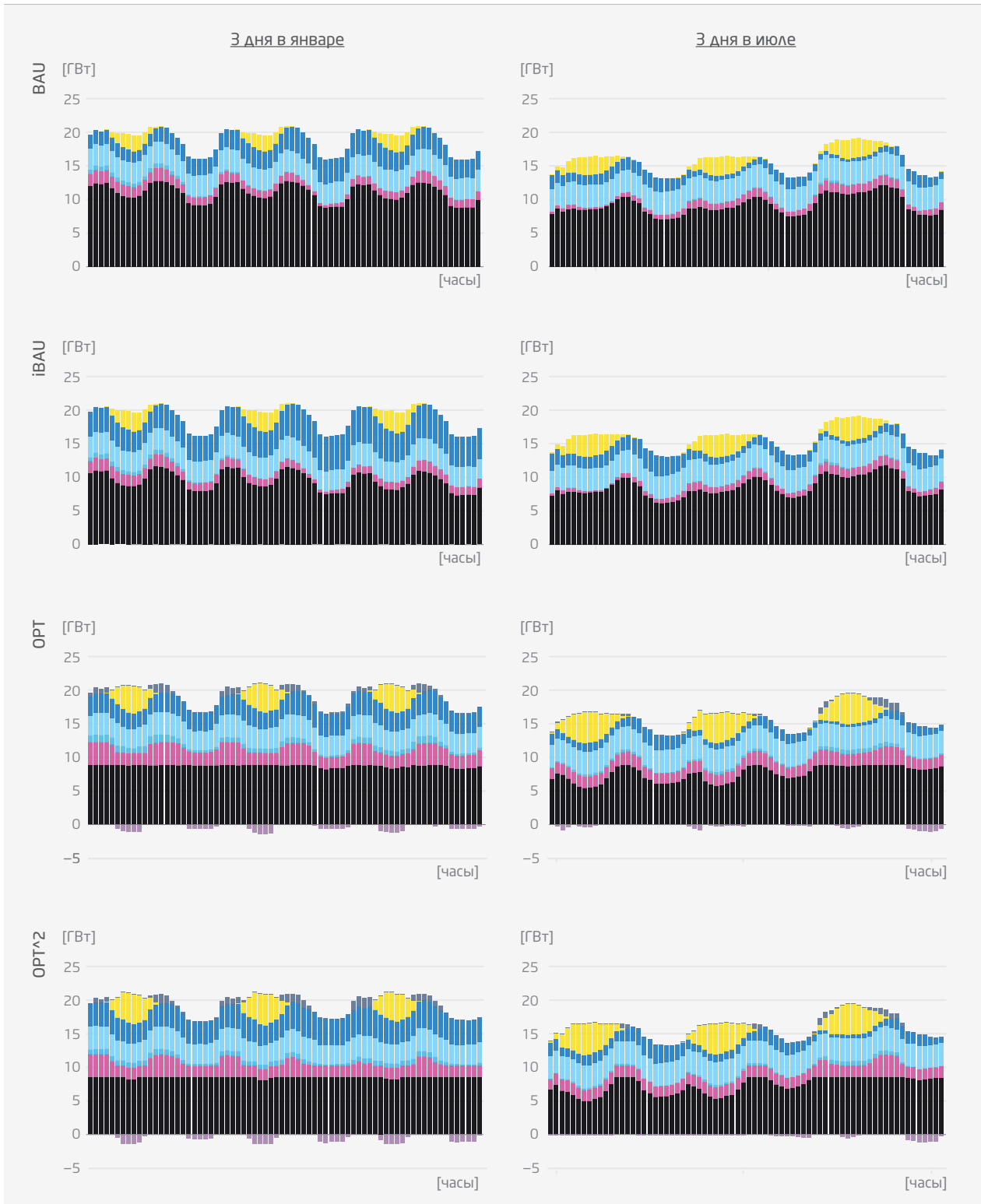
В ходе исследования также была рассмотрена почасовая диспетчеризация различных типов электростанций. В частности, Рисунок 11 демонстрирует диспетчеризацию для холодных январских и жарких июльских дней для всех сценариев. В некоторые часы СЭС и ВЭС будут производить более трети всей электроэнергии, в то время как в другие часы угольные и газовые электростанции будут вынуждены покрывать практически всю нагрузку. Как следует из этого рисунка, вся энергосистема будет вынуждена более

гибко реагировать на переменный характер выработки солнечной и ветровой энергии, который зависит от погодных условий и солнечной радиации. В некоторые часы даже традиционным угольным электростанциям придется часто повышать и понижать мощность. Это значит, что энергосистема Казахстана будет меньше нуждаться в электростанциях, работающих в режиме базовой нагрузки, и больше – в гибких мощностях.

Поскольку в одном из сценариев (OPT^2) пропускная способность оптимизируется по затратам, чистая пропускная мощность передачи электроэнергии между регионами для сценариев без оптимизации (BAU, iBAU

Диспетчеризация в зимний и летний периоды для каждого сценария

→ Рисунок 11



- Уголь ● ССГТ ● ОCGT ● Гидроэнергия ● Энергия ветра ● Энергия солнца ● Зарядка накопителей энергии
- Разрядка накопителей энергии

и ОРТ) и с оптимизацией (ОРТ^2) будет отличаться. Чистая пропускная мощность — это ожидаемый максимальный объем электроэнергии, который может транспортироваться из одного региона в другой без каких-либо ограничений. Как следует из приведенного ниже рисунка (Рисунок 12), сценарий с оптимизацией пропускной способности имеет значительно более высокие значения чистой

пропускной мощности для линий между некоторыми регионами, например, между Карагандинской и Павлодарской, Карагандинской и Алматинской, Алматинской и Жамбылской областями.

Чистая пропускная мощность передачи электроэнергии между регионами Казахстана, а также между регионами Казахстана и соседними странами → Рисунок 12



● Сценарии BAU, iBAU и ОРТ ● ОРТ^2

Agora Energiewende (2024). Примечание: здесь представлено устаревшее административное деление страны. В 2022 году количество областей Казахстана увеличилось с 14 до 17.

3 Перспективы до 2030 года и дальше: траектория энергетического перехода в Казахстане

В последнее время глобальный энергетический сектор переживает кардинальную трансформацию – зеленый энергетический переход. Одно из фундаментальных изменений с точки зрения данного перехода заключается во внедрении энергоэффективных промышленных процессов и приборов. Параллельно с этим происходит быстрое развитие возобновляемой энергетики, что в перспективе позволит существенно увеличить долю ВИЭ в производстве электроэнергии. Данному процессу сопутствует электрификация тепловой энергетики, промышленности и транспорта. Все эти изменения должны привести к постепенному снижению глобальной зависимости от угля, нефти и природного газа. Подобные преобразования могут оказаться чрезвычайно сложными для стран, зависящих от ископаемого топлива, к которым относится Казахстан. В данном разделе проводится анализ того, как тенденции в энергетическом секторе Казахстана соотносятся с глобальными тенденциями.

3.1 Глобальные энергетические тренды: масштабное внедрение ВИЭ и электрификация

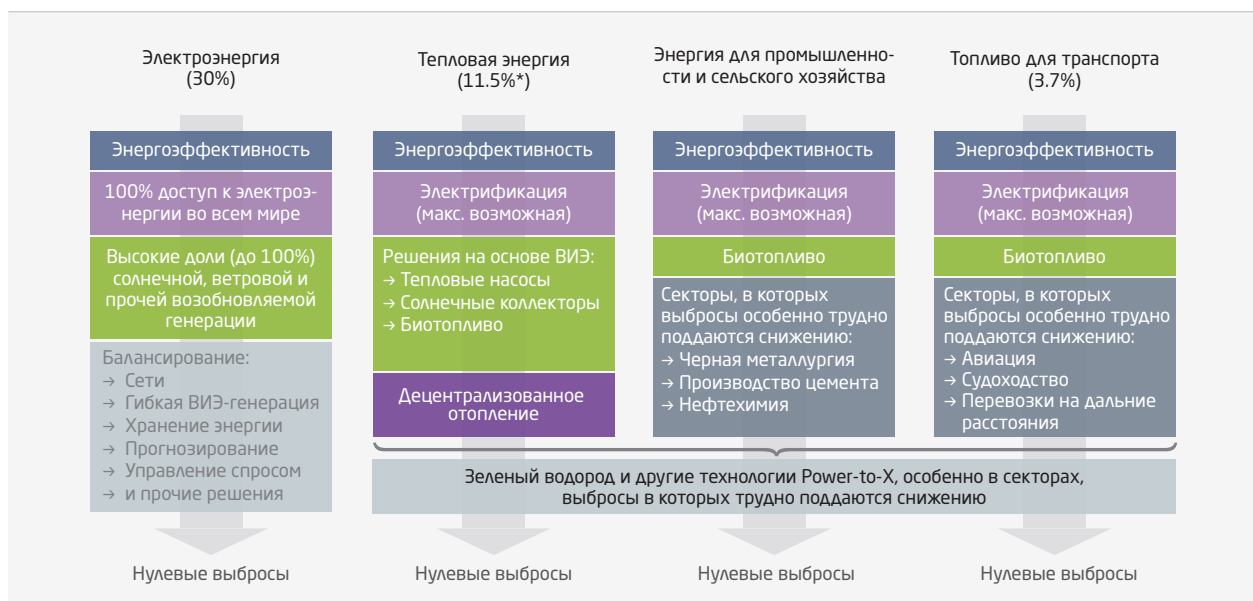
Международные организации, такие как Международное энергетическое агентство (МЭА) и Международное агентство по возобновляемой энергии (IRENA), транснациональные корпорации, такие как BP, и другие важные стейкхолдеры, например REN21, представляют себе глобальный энергетический переход таким, как показано на рисунке ниже (Рисунок 13). Это видение сосредоточено на нескольких ключевых стратегиях.

Важнейшей составляющей энергетического перехода является повышение энергоэффективности, которое расценивается как очень важный, но недостаточно используемый в некоторых странах (включая Казахстан) «источник энергии». Оптимизация энергопотребления и сокращение потерь лежат в основе устойчивой энергетики. Более экономные модели энергопотребления в сочетании с использованием энергоэффективных приборов и с переходом на энергоэффективные производственные процессы снижают потребность в дополнительной выработке электроэнергии.

Другим важнейшим аспектом энергетического перехода является существенное увеличение доли ВИЭ в электроэнергетическом секторе, в том числе до исключительно высоких уровней. Кроме того, ожидается активизация электрификации тепловой энергетики, промышленности и транспорта. Эти процессы должны постепенно привести к снижению потребления угля, нефти и природного газа и начать эру более экологически чистой энергии. Таким образом, электроэнергия, в особенности полученная из возобновляемых источников, рассматривается как ключ к глобальному энергетическому переходу.

В особенно сложных с точки зрения энергоперехода транспортных секторах, таких как авиация, судоходство, магистральные перевозки, а также в некоторых промышленных отраслях, таких как черная металлургия, нефтехимия и цементная промышленность, электрификация далеко не всегда применима. Поэтому все большее значение приобретают другие технологии энергетического перехода, например, использование зеленого водорода и других синтетических (power-to-x) энергоносителей, а также биотоплива. Хотя

Пути перехода к нулевым выбросам от ископаемого топлива и современные доли ВИЭ в глобальной энергетике, по секторам энергоснабжения → Рисунок 13



Agora Energiewende (2024). (доли ВИЭ: для электроэнергетики данные приведены на 2022 год, для других секторов - на 2020 год); источник для долей ВИЭ: REN21 (2023). Renewables 2023 Global Status Report collection, Renewables in Energy Supply. URL: https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/energy_supply/01_energy_supply. Примечание: *Включая тепловую энергию для промышленности

эти технологии еще не в полной степени являются коммерческими, их быстрый прогресс позволяет говорить о многообещающем будущем.

Как демонстрирует Рисунок 13, электроэнергетика исторически раньше и быстрее начала двигаться в сторону ВИЭ по сравнению с тепловой энергетикой и отраслью транспортного топлива. Сейчас за счет ВИЭ вырабатывается уже почти треть мировой электроэнергии, и электроэнергетический сектор лидирует в зеленом энергетическом переходе. По оценкам Международного агентства по возобновляемой энергетике (IRENA), переход на возобновляемые источники энергии в сочетании с повышением энергоэффективности может обеспечить 80% необходимого сокращения глобальных выбросов CO₂, требуемого для реализации

сценария 1,5°C.³⁷ Таким образом, возобновляемая электроэнергетика с очень большой вероятностью станет ключевой отраслью энергетики будущего и превратит угольные электростанции в обесценившиеся активы.

Международные организации и транснациональные корпорации ожидают, что в отрасли электроэнергетики будет преобладать производство ветровой (как наземной так и оффшорной) и солнечной фотоэлектрической энергии. Эти технологии наносят наименьший ущерб климату и окружающей среде, они безопасны, надежны, масштабируемы, применимы практически в любой стране и экономически выгодны, а во многих регионах мира они уже являются самыми дешевыми источниками электроэнергии. Однако данные источники энергии имеют переменный характер, что вызывает опасения, что если

37 IRENA (2021). Reaching zero with renewables: Capturing carbon. URL: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Technical-papers/IRENA_Capturing_Carbon_2021.pdf?rev=b05359177504164aab7fad527b35e0d.

их доля станет значительной, то это создаст угрозу стабильности всей энергосистемы. Данный фактор может быть одной из причин, по которым Казахстан не ставит более амбициозных целей в сфере переменных ВИЭ до 2050 года, хотя в мире уже есть примеры стран с очень высокими долями СЭС и ВЭС в производстве электроэнергии, в частности, Австралия (25%), Чили (28%), Великобритания (29%), Германия (32%), Испания (33%), Уругвай (36%), Дания (61%).³⁸

Как уже отмечалось, исторически ВИЭ развивались в сфере электроэнергетики быстрее, чем в других энергетических секторах. Согласно REN21, в 2022 году 174 страны мира имели цели по доле ВИЭ в производстве электроэнергии, в том числе 37 стран стремились к 100%. Для сравнения, в том же году насчитывалось лишь 46 стран с целевыми показателями по ВИЭ в теплоэнергетике и 49 стран – с целевыми показателями по биотопливу³⁹. Однако в настоящее время все чаще отмечается необходимость ускорения энергетического перехода в теплоэнергетике и в сфере транспортного топлива, и некоторые страны, особенно европейские, уделяют этому все больше внимания. Для Казахстана энергетический переход в секторе теплоснабжения является особенно сложной задачей, поскольку многие функционирующие в стране тепловые электростанции одновременно генерируют электричество и производят тепловую энергию (в 2022 году ТЭЦ произвели 57% тепловой энергии в стране⁴⁰), а отопление имеет особую социальную важность в связи с холодными зимами.

По мере того как в мире все больше признается необходимость перехода на ВИЭ во всех секторах, становится очевидным, что для достижения целей устойчивого развития необходим комплексный подход к развитию энергетики, охватывающий электроэнергетику, теплоэнергетику и транспортное топливо. Возобновляемая электроэнергетика лежит в основе этой широкой стратегии. При этом необходимы согласованные усилия по расширению использования возобновляемых источников энергии в отоплении/охлаждении и на транспорте для обеспечения полноценных преобразований в целях достижения устойчивого энергетического будущего и углеродной нейтральности.

3.2 На пути к более комплексной энергетической политике Казахстана

Экономика Казахстана является одной из наименее энергоэффективных в мире. Национальные цели в области энергоэффективности определены в Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» от 2013 года.⁴¹ В соответствии с этим документом, к 2015 году энергоемкость ВВП страны должна была снизиться на 10% по сравнению с уровнем 2008 года, к 2020 году – на 25%, к 2030 году – на 30%, к 2050 году – на 50%. Согласно данным Enerdata, целевые показатели 2015 и 2020 гг. были достигнуты. Тем не менее, в 2022 году Enerdata поместила Казахстан на 12-е место в мире по энергоемкости (0,145 кое/\$15p).⁴² По сравнению с первой половиной 1990-х гг., страна значительно повысила свою энергоэффективность, однако энергоемкость ее ВВП по-прежнему примерно

38 Ember (2023). Yearly electricity data. URL: <https://ember-climate.org/data-catalogue/yearly-electricity-data/>.

39 REN21 (2023). Renewables 2023 Global Status Report collection, Renewables in Energy Supply. URL: https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/energy_supply/01_energy_supply.

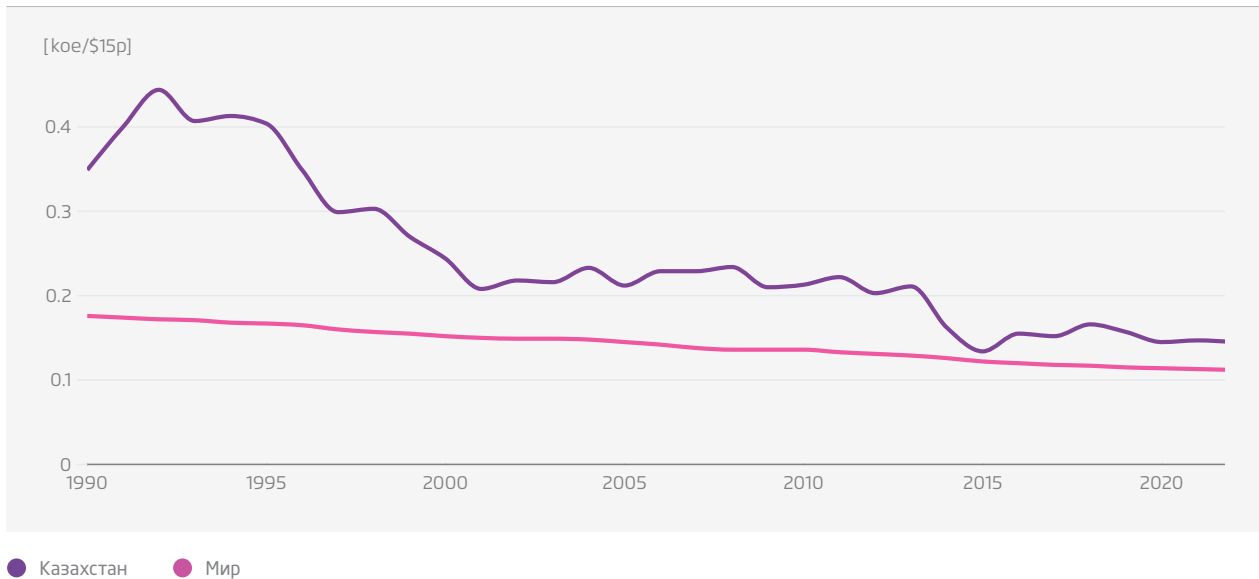
40 Бюро национальной статистики (2023). Топливо-энергетический баланс Республики Казахстан (2022). URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/5186/>.

41 Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 г. № 557. О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577>.

42 Enerdata (2023). Energy intensity. URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>.

Энергоемкость глобальной экономики и экономики Казахстана

→ Рисунок 14



Enerdata (2023). Energy intensity. URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>.

на 50% выше, чем в среднем по миру (Рисунок 14). Это означает, что возобновляемый источник энергии номер один – энергоэффективность – в Казахстане до сих пор используется в недостаточной степени.

Автомобили в Казахстане работают почти исключительно на ископаемом топливе, а электрификация теплового и транспортного секторов в стране практически не началась (Рисунок 15). В последнее время в Казахстане активно развивается солнечная и ветровая энергетика: по итогам 2022 года суммарная доля СЭС и ВЭС в производстве электроэнергии составила 3,7%⁴³ а к середине 2023 года – 5%.⁴⁴ Согласно существующим национальным целям, к 2030 году их доля

должна возрасти до 15%,⁴⁵ а к 2050 году доля альтернативной (т.е. с учетом ввода в эксплуатацию АЭС) и возобновляемой (включая все ГЭС) энергетики в структуре производства электроэнергии должна достичь 50%.⁴⁶ Энергетический баланс Республики Казахстан до 2035 года предусматривает, что доля ВИЭ с переменным характером производства энергии в Казахстане к 2030 году составит почти 15% и затем останется неизменной до 2035 года, а доля альтернативной энергетики к 2035 году превысит 40% за счет АЭС (которая сегодня отсутствует).⁴⁷ Таким образом,

43 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ по итогам 2022 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/403997?lang=ru>.

44 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ за I полугодие 2023 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/496972?lang=ru>.

45 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2021). Глава государства провел совещание по вопросам развития электроэнергетической отрасли. URL: <https://akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-soveshchanie-po-voprosam-razvitiya-elektroenergeticheskoy-otrasli-2641240>.

46 Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 г. № 557. О Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577>.

47 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 24 марта 2022 г. № 104 «Об утверждении Энергетического баланса Республики Казахстан до 2035 года» (с изменениями от 30.01.2023 г.) URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37351758&pos=4;-90#pos=4;-90.

оптимистичный план по ВИЭ с переменным характером генерации для Казахстана может быть ограничен 25% к 2050 году.

Для сравнения: Германия к 2030 году планирует производить 80% электроэнергии из возобновляемых источников, некоторые другие европейские страны, такие как Португалия, Дания и Австрия, – 100%, а реализация аналогичных национальных целей во всех странах ЕС-27 к 2030 году позволит увеличить долю ВИЭ в генерации ЕС-27 до 63%.⁴⁸ Соседний с Казахстаном Узбекистан планирует сделать свой энергетический сектор углеродно нейтральным к 2050 году, и для этого в 2021 году Министерство энергетики страны подписало Меморандум о взаимопонимании с Европейским банком реконструкции и развития (ЕБРР).⁴⁹ Узбекистан намерен сосредото-

точиться на атомной, солнечной, ветровой и гидроэнергетике, а также на модернизации сетей.

Казахстан проводил работу над улучшением своей энергетической политики, чтобы привести ее в соответствие с целями устойчивого развития и глобальными экологическими обязательствами. Помимо целей по ВИЭ в электроэнергетике, в стране также была поставлена задача по обеспечению углеродной нейтральности всей экономики к 2060 году.

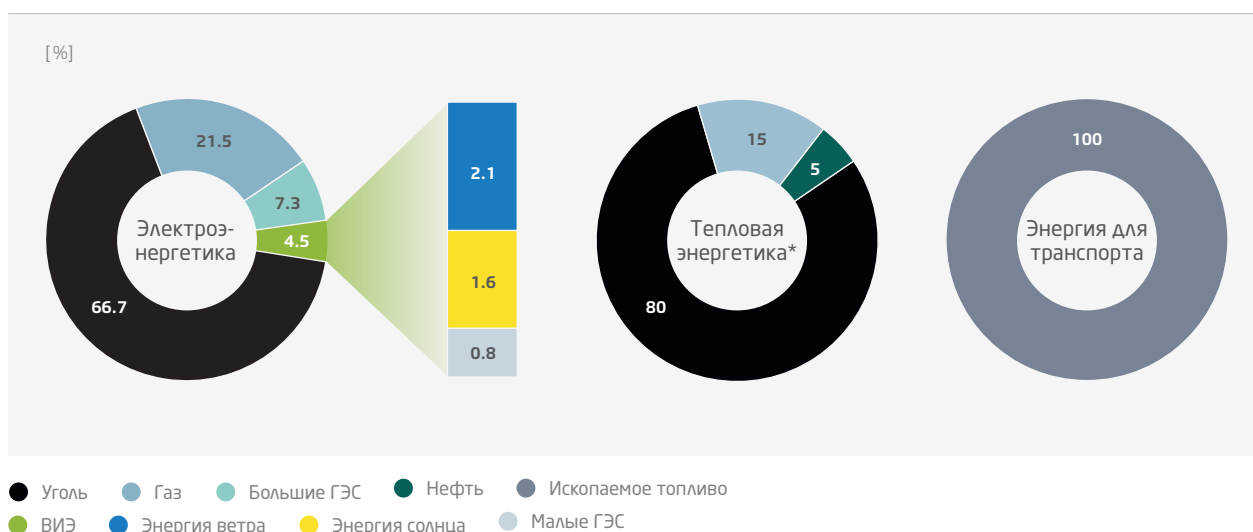
Перспектива полного отказа от угольной генерации к 2050 году в связи с утверждением национальной цели по достижению углеродной нейтральности к 2060 году была озвучена на высшем государственном уровне (президентом Токаевым) еще в 2021 году. Казахстан также поддержал пункт 4 заявления «Глобальный переход от угля к чистой энергетике», касавшийся поддержки работников угольной промышленности, секторов и сообществ, затронутых энергетическим

48 Ember (2023). EU Power Sector 2030 Targets Tracker. URL: <https://ember-climate.org/data/data-tools/european-renewables-target-tracker/>.

49 UZ Daily (2021). ЕБРР поддержит Узбекистан в достижении углеродной нейтральности. URL: <https://www.uzdaily.uz/en/post/65118>.

Структура источников энергии в электроэнергетическом, тепловом и транспортном секторах Казахстана в 2022 году

→ Рисунок 15



Agora Energiewende (2024). Об утверждении Концепции развития электроэнергетики Республики Казахстан на 2023–2029 годы. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000263>. Примечание: * Исключая индивидуальное отопление

переходом, на Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP26) в Глазго. Однако при этом были проигнорированы пункты 2 и 3, содержащие обязательства непосредственно по постепенному отказу от угля в энергетическом секторе.⁵⁰ В Казахстане до сих пор не начата работа по планированию постепенного отказа от угольной энергетики. Более того, дискуссия об отказе от угля не получила дальнейшего развития.

Надежда на то, что в Казахстане начнет обсуждаться отказ от других видов ископаемого топлива, также иллюзорна. Еще на COP26 Казахстан воздержался от присоединения к альянсу Beyond Oil and Gas Alliance (BOGA), целью которого является прекращение разведки и добычи нефти и газа.⁵¹ И это легко объяснимо – нефтедобыча является одной из основных отраслей экономики Казахстана. В 2019 году налоговые поступления от нефтегазового сектора сформировали 44% государственного бюджета Казахстана.⁵² В 2021 году нефтяная рента Казахстана оценивалась Всемирным банком в 14,8% ВВП.⁵³ Для сравнения, рента от природного газа и угля оценивалась в 2,0%⁵⁴ и 0,8% ВВП соответственно.⁵⁵

В Казахстане пока не выработана четкая официальная позиция относительно перспектив развития электромобилей, а официальные прогнозы по количеству электромобилей к 2035 году крайне консервативны – 40 тыс. единиц на население почти в 20 млн человек.⁵⁶ Масштабная трансформация сектора теплоэнергетики в стране также пока не предусматривается, равно как и электрификация этого сектора. Хотя в Концепции развития электроэнергетики Республики Казахстан до 2035 года отмечается, что создание эффективной системы теплоснабжения будет возможно за счет увеличения доли источников тепловой энергии, базирующихся на использовании ВИЭ и альтернативных источников энергии.⁵⁷ Таким образом, Казахстану необходима более сбалансированная и в то же время амбициозная политика, направленная на развитие возобновляемых источников энергии в электроэнергетике с учетом будущей электрификации других отраслей.

50 Конференция ООН по изменению климата Великобритания 2021 (2021). Заявление о глобальном переходе от угля к чистой энергетике. URL: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230313120149/https://ukcop26.org/global-coal-to-clean-power-transition-statement/>.

51 BOGA (2021). Кто мы. URL: <https://beyondoilandgasalliance.org/who-we-are/>.

52 Forbes (2019). 44% государственного бюджета Казахстана формирует нефтегазовый сектор. URL: https://forbes.kz/process/energetics/44_gosudarstvennogo_byudjeta_kazahstana_formiruet_neftegazovyy_sektor/.

53 Всемирный банк (2023 г.). Нефтяная рента (% от ВВП). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PETR.RT.ZS?locations=XO>.

54 Всемирный банк (2023 г.). Газовая рента (% от ВВП). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.INGAS.RT.ZS?locations=XO>.

55 Всемирный банк (2023 г.). Угольная рента (% от ВВП). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.COAL.RT.ZS?locations=XO>.

56 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетики Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

57 Там же.

4 Интенсификация энергетического перехода

Когда доля переменной возобновляемой энергии превышает минимальные пороговые значения, и становится очевидной необходимость комплексной трансформации и модернизации всей энергосистемы, возникает множество непростых вопросов. Они касаются эффективного балансирования растущей выработки солнечных и ветровых электростанций, формирования и развития соответствующих ценовых сигналов для инвесторов в целях привлечения инвестиций в экономически эффективные энергетические технологии, управления поэтапным выводом из эксплуатации устаревшей угольной инфраструктуры без катастрофического влияния на регионы добычи угля и их работников, а также предотвращения резких колебаний цен на электроэнергию для смягчения возможных социальных волнений. В данной главе рассматриваются стратегии, позволяющие преодолеть перечисленные вызовы и избежать лишних затрат и негативных последствий, связанных с энергетическим переходом.

Следуя по пути преобразований, необходимо действовать осторожно, используя правильное сочетание регулирования, технологических достижений и социально-экономического стимулирования. Ошибочные стратегии, такие как чрезмерные инвестиции в резервные электростанции на ископаемом топливе или в избыточные мощности хранения энергии, могут оказаться контрпродуктивными и обременительными для экономики. Поэтому для обеспечения успешного перехода к устойчивой и эффективной энергетике необходим взвешенный подход.

4.1 Балансирование переменных ВИЭ

Высокая доля солнечных и ветровых электростанций в генерации создает проблему балансирования спроса и предложения в электроэнергетической системе. Балансирование в свою очередь окружено множеством мифов и заблуждений, требующих пояснения. Наиболее распространенными являются следующие заблуждения: балансирование возобновляемых источников энергии невозможно или слишком затратно, либо возможно, но только при условии, что их доля незначительна; все электростанции на переменных ВИЭ должны иметь в резерве традиционные генерирующие мощности в соотношении 1:1; хранение энергии – единственное решение в сфере балансирования ВИЭ; возобновляемые источники энергии снижают надежность энергосистемы. Однако существует ряд типовых решений (Рисунок 16), комплексное внедрение которых позволяет решить проблему нестабильности переменных ВИЭ без строительства огромных накопительных или резервных мощностей и без негативных последствий для надежности сети.

Усиление и развитие энергетической сети, пожалуй, является наиболее острой проблемой в Казахстане, и этот вопрос стоит на повестке дня Министерства энергетики уже не первый год. Сети передачи и распределения электроэнергии не подвергались существенной модернизации с советских времен. Количество внеплановых отключений после снижения в 2019 году в последние годы вновь стало расти.⁵⁸ Западная энергетическая зона по-прежнему не объединена с остальной частью страны, а связь между северной и

58 KEGOK (2017–2021). Годовые отчеты 2017–2021. URL: <https://www.kegoc.kz/ru/for-investors-and-shareholders/raskrytie-informatsii/annual-reports/>.

Возможности балансирования переменных ВИЭ в Казахстане (и других странах)

→ Рисунок 16



Agora Energiewende (2024)

жужной зонами является слабой. Необходимы меры по повышению общей устойчивости энергосистемы и обеспечению возможностей передачи возобновляемой электроэнергии на большие расстояния. Причем расширение сети не должно следовать за появлением новых электростанций, как это часто бывает; должно осуществляться параллельное планирование развития сети и внедрения ВИЭ во избежание лишних инвестиций и задержек.⁵⁹

Согласно Концепции развития электроэнергетики Республики Казахстан до 2035 года, опубликованной в сентябре 2022 года, западную энергетическую зону планируется соединить с Единой энергосистемой Казахстана через воздушные линии 220–500 кВ к 2025 году.⁶⁰ Актуальность этих планов была

вновь подтверждена в 2023 году.⁶¹ KEGOC приступил к разработке проекта «Объединение энергосистемы Западного Казахстана с ЕЭС Казахстана. Строительство электросетевых объектов». Правда, завершить этот проект KEGOC планирует к 2028 году. Объединение регионов является важнейшим условием надежности энергоснабжения, особенно для систем с высокой долей переменных возобновляемых источников энергии. Одним из ожидаемых результатов интеграции западной зоны с ЕЭС является использование маневренной генерации западной зоны для компенсации дисбалансов электроэнергии и мощности на севере и юге. Планируется, что новая воздушная линия соединит Атыраускую и Актюбинскую области.⁶²

59 Agora Energiewende (2019). Несколько слов о сетях. Как электрические сети могут помочь интегрировать переменную возобновляемую энергию. URL: <https://agora-energiewende.de/en/publications/a-word-on-grids/>.

60 Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетики Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

61 Sputnik (2023). Не допустить блэкаутов на западе Казахстана: что планирует Кабинет министров кроме ремонта на МАЭК. URL: <https://ru.sputnik.kz/20230817/ne-dopustit-blekautov-na-zapade-kazakhstan-a-cto-planiruet-kabmin-krome-remonta-na-maek-37746323.html>.

62 KEGOC (2023). Проект Объединение энергосистемы Западного Казахстана с ЕЭС Казахстана. URL: <https://www.kegoc.kz/ru/about/investicionnye-proekty/155662/>.

Маневренная генерация, часто подразумевающая использование газовых электростанций, может быстро включаться и отключаться для компенсации переменного характера солнечных и ветровых электростанций. Казахстан, однако, испытывает дефицит природного газа для внутреннего потребления (подробнее см. раздел 5.1). И даже сейчас, при относительно низком уровне развития ВИЭ, наблюдается нехватка гибких мощностей и растущая зависимость страны от России в балансировании энергосистемы. С 1 июля 2023 года в Казахстане действует балансирующий рынок, который может давать ценовые сигналы инвесторам и стимулировать их к вложениям в гибкие мощности. Природный газ является ископаемым топливом, которое можно рассматривать как инструмент перехода, но только на ограниченный период времени. Учитывая, что инвестиции в новые гибкие газовые мощности являются долгосрочными (на ближайшие 30–40 лет, но на практике часто на более длительные сроки), необходимо заранее подумать об их переводе на экологически чистые виды топлива в будущем, например, на биогаз или зеленый водород, учитывая намерение Казахстана стать климатически нейтральным к 2060 году.

Существует также возможность применения *гибкой (диспетчеризируемой) возобновляемой генерации*, которая включает в себя гидроэлектростанции и электростанции, работающие на биотопливе/биомассе. В Казахстане имеется развитая отрасль гидроэнергетики, которая вырабатывает около 8% всей электроэнергии в стране и является третьим по значимости источником электроэнергии после угля (67%) и природного газа (20%).⁶³ Электростанции, работающие на биотопливе, в Казахстане встречаются редко. По сравнению со станциями, работающими на ветровой и солнечной энергии, которые в

совокупности выработали почти 2,9 ТВт*ч в первом полугодии 2023 года, биотопливные электростанции произвели всего 1,8 ГВт*ч.⁶⁴ В то же время в Казахстане развито сельское хозяйство, и отходы растениеводства и животноводства могут использоваться для производства электроэнергии.

Кроме того, диверсификация, при которой различные возобновляемые источники энергии дополняют друг друга, может существенно повысить стабильность системы. Такой комплексный подход снижает риск чрезмерной зависимости от одного источника энергии и позволяет обеспечить более надежное и стабильное энергоснабжение. Кроме того, он создает благоприятные условия для поэтапного вывода из эксплуатации угольных электростанций без перебоев в стабильности энергоснабжения.

Повышение гибкости (через модернизацию) существующих угольных электростанций для интеграции в сеть большего объема возобновляемой электроэнергии также может быть одной из опций. Конечно, это не самое предпочтительное решение, но если оно позволит в среднесрочной перспективе увеличить генерацию солнечной и ветровой энергии, то в любом случае это лучший вариант, чем строительство новых угольных (или даже газовых) электростанций, которые останутся в системе еще на 30–40 лет и более или превратятся в не востребуемые активы.

Еще одним решением является *аккумуляция энергии*. В 2026–2027 гг. французская компания Total Eren совместно с казахстанскими компаниями «Самрук-Казына» и «КазМунайГаз» намерена построить в Жамбылской области Казахстана

⁶³ IEA (2020). Kazakhstan. URL: <https://www.iea.org/countries/kazakhstan>.

⁶⁴ Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ за I полугодие 2023 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/496972?lang=ru>.

ветроэлектростанцию мощностью 1 ГВт с системой хранения энергии 300 МВт – 600 МВт*ч. Еще одну ветроэлектростанцию мощностью 500 МВт с системой хранения энергии планируют построить Казахстанский инвестиционный фонд развития (KIDF) и государственная компания из ОАЭ Masdar. Системы хранения энергии только начинают развиваться в стране, и этот процесс необходимо ускорить.

Качественное прогнозирование производства переменной возобновляемой электроэнергии имеет решающее значение для интеграции ВИЭ в сеть. Прогнозирование генерации ВИЭ с помощью точных метеорологических прогнозов дает заметные преимущества системным операторам, особенно в случаях экстремальных погодных явлений.⁶⁵

65 IRENA (2020). Advanced forecasting of variable renewable power generation. Innovation landscape brief. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Advanced_weather_forecasting_2020.pdf?la=en&hash=8384431B56569C0D8786C9A4FDD56864443D10AF.

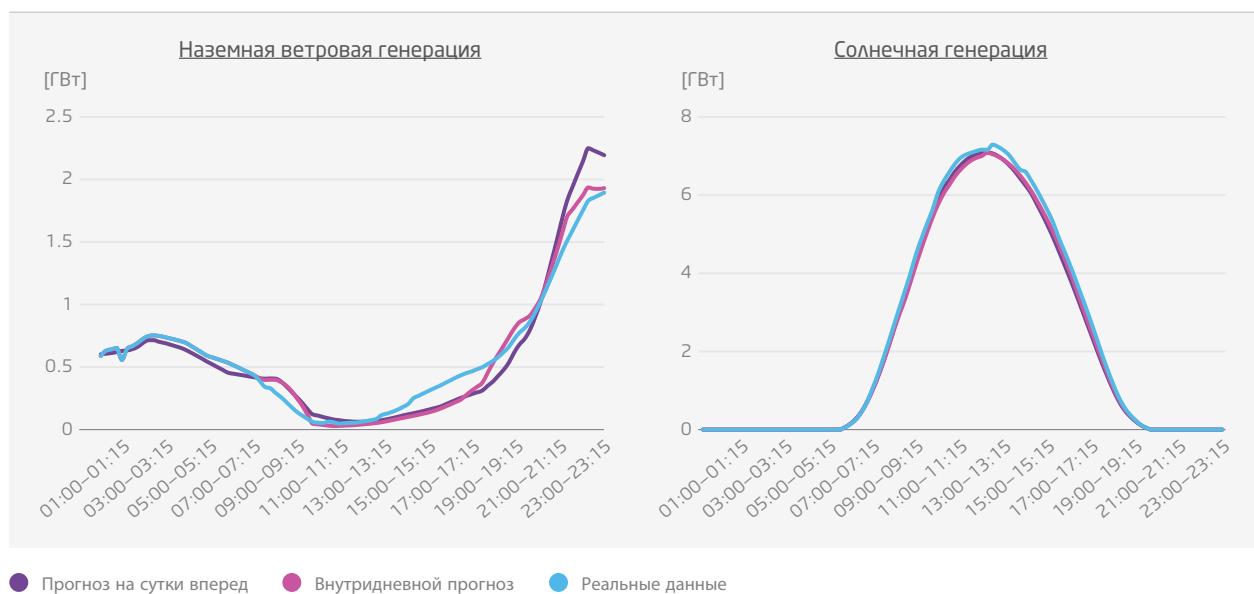
Компания KEGOC только планирует реализовать пилотные проекты по прогнозированию генерации ВИЭ в Казахстане,⁶⁶ в то время как многие другие страны уже имеют богатый положительный опыт в этой области. Точность современных прогнозов достаточно высока. Еще в 2016 году немецкий системный оператор 50Hertz отмечал среднее отклонение в 2–4% для ветровой генерации и 5–7% для солнечной фотоэлектрической генерации для прогнозов на сутки вперед.⁶⁷ На Рисунке 17 показано сравнение прогнозов на сутки вперед и внутрисуточных прогнозов с фактической выработкой ветровой и солнечной электроэнергии на 24 августа 2023 года в зоне контроля другого немецкого системного оператора – Amprion. Amprion использует различные модели и типы данных для

66 KEGOC (2022). АО «KEGOC»: опережающее развитие НЭС Казахстана сейчас – требование времени. URL: <https://www.kegoc.kz/ru/press-center/mass-media-about-the-company/158042/>.

67 CLEW (2016). Volatile but predictable: Forecasting renewable power generation. URL: <https://www.cleaneenergywire.org/factsheets/volatile-predictable-forecasting-renewable-power-generation>.

Прогноз на сутки вперед, внутрисуточный прогноз и фактическая выработка наземной ветровой (слева) и солнечной фотоэлектрической (справа) генерации немецкого сетевого оператора Amprion, 24 августа 2023 года

→ Рисунок 17



Entsoe (2023). Generation forecasts for wind and solar. URL: <https://transparency.entsoe.eu/>.

прогнозирования генерации ветровой и солнечной фотоэлектрической энергии для примерно 1,4 тыс. ветротурбин и 15 тыс. солнечных фотоэлектрических станций в своей зоне покрытия. Сроки прогнозирования составляют от 15 минут до 4 дней.⁶⁸

Управление спросом на электроэнергию представляет собой набор инструментов, оказывающих влияние на структуру и объемы потребления электроэнергии с целью минимизации пикового спроса и снижения нагрузки на электросеть. По сути, потребителям предлагается перенести спрос на электроэнергию на периоды, когда она не является дефицитной. Управление спросом включает в себя два основных типа инструментов: ценовые сигналы для мотивации потребителей к корректировке потребления (имплицитные), а также стимулирование, предполагающее прямые выплаты потребителям, изменяющим свой спрос нужным образом (эксплицитные).⁶⁹ Управление спросом становится все более популярным во всем мире, но в Казахстане пока не используется. Несколько лет назад в стране проводились эксперименты с дифференциацией тарифов по зонам суток, однако позже дифференцированные тарифы отменили, поскольку ночное потребление электроэнергии осталось практически на прежнем уровне.⁷⁰ По различным оценкам, потенциал снижения пиковой нагрузки в энергосистеме Казахстана за счет управления спросом на электроэнергию может достигать 10%.⁷¹

С необходимостью комплексного подхода к развитию энергетики, о котором говорилось выше (см. раздел 3.2), тесно связана идея *межсекторальной интеграции (sector coupling)*, предполагающая интеграцию электроэнергетики с двумя другими энергетическими секторами: отоплением/охлаждением и энергией для транспорта. При избыточной выработке электроэнергии из возобновляемых источников ее излишки можно использовать для отопления или охлаждения (например, для питания тепловых насосов) или для зарядки электромобилей. В противном случае генерация может принудительно ограничиваться и, следовательно, теряться. Межсекторальная интеграция также может способствовать ускорению энергетического перехода в энергетических секторах, не относящихся к электроэнергетике.

Также с точки зрения балансирования в определенных случаях может оказаться выгодной генерация электроэнергии на малых объектах ВИЭ (например, солнечные батареи на крышах малых и средних предприятий и домохозяйств) и подача ее в сеть на среднем или низком напряжении. Это особенно важно с учетом того, что углеродная нейтральность подразумевает электрификацию транспорта и систем отопления/охлаждения, и в этом случае чем больше электроэнергии производится на месте, тем лучше, поскольку снижаются потери при ее передаче и распределении. Кроме того, такие устройства, как электромобили, можно заряжать при наличии или избытке дешевой локальной электроэнергии – например, солнечной энергии в дневное время.

В более долгосрочной перспективе гибкость можно обеспечить за счет электролизеров, которые можно использовать в периоды большой выработки за счет переменных ВИЭ, во избежание принудительного ограничения солнечной и ветровой генерации. Более того,

68 Amprion (2023). The energy transition demands innovators. URL: <https://www.amprion.net/documents/Amprion-Innovation/Amprion-Innovation-Report.pdf>.

69 IEA (2023). Demand response. URL: <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response>.

70 Казправда (2022). Что не так с ночным тарифом? URL: <https://kazpravda.kz/n/chto-ne-tak-s-nochnym-tarifom/>.

71 Ким И. (2023). Перспективы реализации программы реагирования на спрос в Казахстане // Qazaq Green. URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/analytics/1424/>.

электролизеры можно установить в критических для энергосистемы местах, при условии, конечно, наличия достаточных объемов воды.

Выработка электрической и тепловой энергии в Казахстане взаимосвязаны через ТЭЦ в гораздо большей степени, чем в большинстве других стран мира – более трети тепла в стране вырабатывается на ТЭЦ⁷², причем в основном за счет угля. Это означает, что электроэнергетика не может развиваться полностью автономно от теплоэнергетики. Более того, Казахстану необходимо комплексно планировать всю энергетическую инфраструктуру, учитывая современные тенденции энергетических рынков, такие как распространение тепловых насосов и пеллетных котлов, электрификация теплоснабжения и транспорта, развитие зеленого водорода и других технологий P2X, постепенный отказ от угля и т.д.

Комбинируя обозначенные выше стратегии и адаптируя их к конкретной структуре генерации за счет ВИЭ, а также к местным условиям, в Казахстане можно создать надежную и сбалансированную энергетическую систему на основе ВИЭ, которая будет способствовать устойчивому развитию страны.

Усложнение энергетического сектора требует комплексной трансформации всей энергосистемы. Электромобили, тепловые насосы, производство зеленого водорода пока не обрели широкой популярности в Казахстане. И в ближайшие несколько лет кардинальные перемены не предвидятся. Но для эффективного энергетического перехода, даже если он будет далеким от 100% ВИЭ, необходимо комплексное управление. Важно учитывать современные тенденции развития во всем энергетическом секторе и разработать план постепенного отказа от угля. Отсутствие

комплексного подхода характерно не только для Казахстана, но и для мировых лидеров энергетического перехода. Однако чем раньше Казахстан займется разработкой такого подхода, тем быстрее он догонит другие страны и тем меньше будут потери Казахстана от невостребованных энергетических активов в будущем.

4.2 Модель электроэнергетического рынка

За последние десятилетия структура электроэнергетического рынка Казахстана прошла путь от вертикально интегрированной монополии до частично либерализованной мультирыночной системы, включающей в себя двусторонние долгосрочные контракты, спотовый рынок, балансирующий рынок (работает в имитационном режиме), рынок системных и вспомогательных услуг и рынок мощности. Функции генерации, передачи и распределения электроэнергии были разделены. Выработкой электроэнергии уже долгое время занимается большое количество компаний, в том числе частных, хотя доминирующее положение занимает государственная компания «Самрук-Энерго». До середины 2023 года на оптовом рынке электроэнергии Казахстана преобладали двусторонние долгосрочные договоры между генерирующими компаниями и крупными потребителями, а также региональными дистрибьюторами.⁷³

1 июля 2023 года в Казахстане была введена модель единого закупщика электроэнергии, и одновременно с этим был запущен балансирующий рынок электроэнергии в

⁷² Carbon Tracker (2023). Kazakhstan Energy Transition. URL: <https://carbontracker.org/reports/kazakhstan-energy-transition/>.

⁷³ Agora Energiewende (2023). От угля к возобновляемым источникам энергии: переход в энергетическом секторе Казахстана. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022_09_INT_Kazakhstan/A-EW_295_Kazakhstan_EN_WEB.pdf.

режиме реального времени.⁷⁴ Единым закупщиком всей электроэнергии был назначен Расчетно-финансовый центр по поддержке возобновляемых источников энергии (первоначально создан системным оператором KEGOC, в 2022 году передан Министерству энергетики Республики Казахстан⁷⁵), который ранее покупал и перепродавал только возобновляемую электроэнергию, поставляемую в ЕЭС Казахстана.⁷⁶ Теперь Единый закупщик приобретает у отечественных электростанций плановые объемы электроэнергии на следующие сутки. Эти сделки осуществляются путем проведения централизованных тендеров в системе электронных торгов государственной компании КОРЭМ (оператор централизованных торгов электроэнергией). При нехватке электроэнергии отечественных электростанций Единый закупщик будет приобретать электроэнергию у соседних государств. Стоимость импортной электроэнергии будет равномерно распределяться между всеми оптовыми потребителями.

Одна из основных причин введения механизма Единого закупщика – стремление предотвратить влияние высоких тарифов вновь вводимых электростанций или дорогой импортной электроэнергии на некоторых отдельных потребителей. Казахстан в течение многих лет сдерживал рост тарифов во избежание недовольства потребителей, что привело к недоинвестированию и устареванию оборудования.

Ранее предприятия или региональные распределительные сети покупали электроэнергию у близлежащих электростанций, имеющих необходимые мощности, по ценам,

диктуемым поставщиками.⁷⁷ Теперь же высокие тарифы новых электростанций будут распределяться между потребителями и, таким образом, в меньшей степени отразятся на отдельных предприятиях. Предполагается, что в будущем цены на электроэнергию для потребителей будут выравнены между регионами. Новый механизм также направлен на минимизацию потоков электроэнергии между Казахстаном и соседними странами за счет замены суточных графиков, основанных на технических возможностях электростанций, на реальные графики потребителей, а также на исключение спекулятивных операций при купле-продаже электроэнергии.⁷⁸

До 1 июля 2023 года балансирующий рынок электроэнергии в течение многих лет работал в имитационном режиме. Однако системный оператор KEGOC не смог в установленные сроки ввести в эксплуатацию автоматизированный программный механизм балансирующего рынка электроэнергии в режиме реального времени.⁷⁹

Мировая практика знает множество моделей рынков электроэнергии. На одном конце этого многообразия находятся вертикально интегрированные компании, которые принимают централизованные инвестиционные решения, на другом – полностью либерализованные оптовые и розничные рынки, где компании осуществляют инвестиции в электростанции на основе исследований рынка и в целях максимизации прибыли. Модель Единого закупщика находится между этими двумя полюсами, но очень близка к модели

74 Служба центральных коммуникаций при Президенте Республики Казахстан (2023 год). URL: <https://ortcom.kz/ru/deyatelnost-pravitelstva/1688116720>.

75 Финансово-расчетный центр РЭ (2023). О нас. URL: <https://www.rfc.kz/about>.

76 Там же.

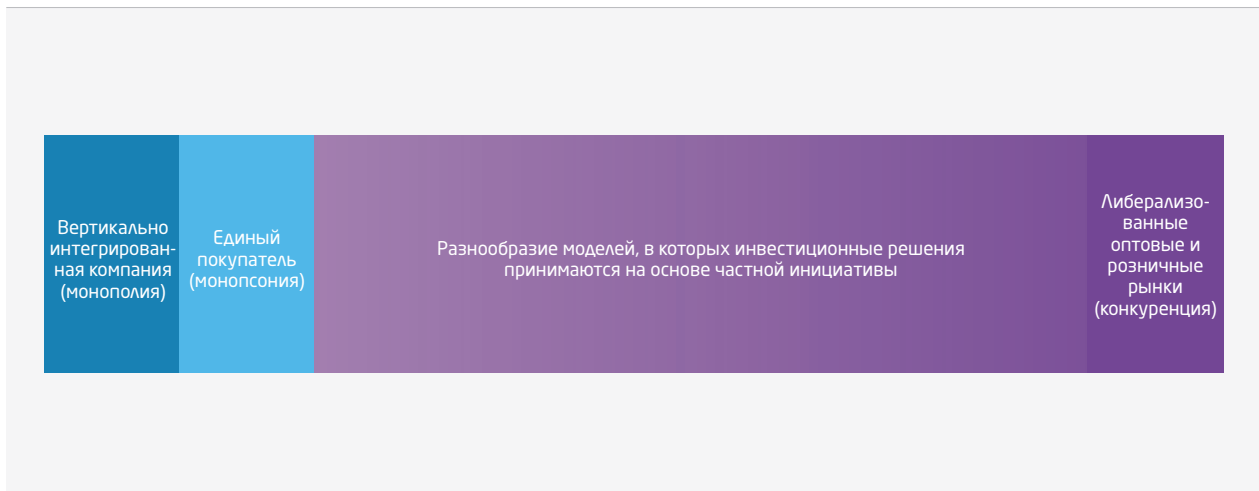
77 Tengri News (2023). АО «KEGOC» подводит первые итоги реформ на рынке энергоснабжения. URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ao-kegoc-podvodit-pervyie-itogi-reform-ryinke-506577/.

78 Zakon (2023). В Казахстане с 1 июля появится Единый закупщик электроэнергии. URL: <https://www.zakon.kz/sobytiia/6398580-v-kazakhstane-s-1-iyulya-poyavitsya-edinyy-zakupshchik-elektroenergii.html>.

79 Министерство энергетики Республики Казахстан (2023). О системе балансирующего рынка электрической энергии. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/589399?lang=ru>.

Модели электроэнергетического рынка

→ Рисунок 18



Agora Energiewende (2024)

вертикально интегрированной энергокомпании (Рисунок 18). Между моделью Единого закупщика и либерализованными рынками существует множество различных моделей, основанных на частной инициативе в принятии инвестиционных решений, которые могут включать в себя механизмы поддержки инвестиций, такие как аукционные торги по отбору проектов ВИЭ, механизм платы за мощность и пр.

Модель единого закупщика впервые появилась в 1990-х гг. в развивающихся странах и была популярна в Азии, а также во многих странах с переходной экономикой (например, в Восточной Европе). На протяжении нескольких десятилетий модель подвергалась серьезной критике. Так, в 2000 году Всемирный банк охарактеризовал данную модель как «опасный путь к конкурентным рынкам электроэнергии» и сослался на ее следующие недостатки: низкая платежная дисциплина, неэффективность инвестиционных решений, принимаемых государственными чиновниками в рамках данной модели, возможность вмешательства государства в диспетчеризацию генерирующих компаний и распределение денежных средств между ними и

т.д.⁸⁰ К другим отрицательным сторонам этой модели можно отнести снижение стимулов к инновациям и повышению эффективности, ограниченность переговорных возможностей генераторов и отсутствие гибкости. В большинстве европейских стран в настоящее время нет механизма единого закупщика (хотя многие из них использовали эту модель в прошлом), а новые мощности диспетчируются самостоятельно. Решения об инвестировании в новые электростанции принимаются коммерческими компаниями на основе их оценок будущей рентабельности.⁸¹

Модель рынка имеет решающее значение для формирования адекватных ценовых сигналов и, как следствие, интеграции высокой доли возобновляемых источников энергии при низких затратах. Особенно важно то, что необходимо не только генерировать больше возобновляемых киловатт-часов, но и обеспечивать гибкость интеграции растущего

80 World Bank (2000). The Single-Buyer Model. A Dangerous Path toward Competitive Electricity Markets. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/779321468780281965/pdf/22403-Replacement-file-225LOVEI.pdf>

81 Guidehouse, Agora Energiewende (2023). Electricity Market Design for Climate Neutrality: Fundamentals. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2023/Agora_Power_market_design_fundamentals_Guidehouse.pdf.

объема возобновляемых киловатт-часов в систему. Для этого необходим рынок, справедливо оценивающий как новые возобновляемые киловатт-часы, так и услуги по их балансированию⁸². В настоящее время тепловые электростанции в Казахстане имеют очень ограниченные технические возможности и экономические стимулы для корректировки своих графиков в зависимости от наличия ветровой и солнечной электроэнергии. И это создает огромный барьер для дальнейшего развития переменных ВИЭ в стране.

При верной стратегии полностью либерализованные рынки электроэнергии могут стать наиболее эффективными, ведь конкуренция определяет оптовые цены лучше, чем ценовое регулирование, а ликвидные краткосрочные рынки, в свою очередь, формируют необходимые ценовые сигналы для появления гибкой генерации и ее использования для интеграции ВИЭ в сеть. Модель маржинального ценообразования, при которой цена на всю продаваемую электроэнергию устанавливается на уровне самых дорогих генераторов (часто это газовые турбины открытого цикла), считается наиболее эффективной моделью либерализованных рынков электроэнергии.⁸³ Таким образом, использование модели единого закупщика может рассматриваться как промежуточный этап на пути к полностью либерализованным и конкурентным рынкам электроэнергии в Казахстане.

4.3 Трудное решение о постепенном отказе от угля

Отказ от угля – непростое решение ввиду его сложных социальных и экономических последствий, возможного негативного влияния на энергетическую безопасность, а также в силу присущего энергетическому сектору консерватизма и инерции. В то же время некоторые из распространенных аргументов в пользу угольной электро- и теплоэнергетики уже сейчас мало применимы в Казахстане. Например, аргумент о том, что Казахстан – страна с суровым и холодным климатом, где уголь используется не только для производства электроэнергии, но и для отопления, и поэтому без угля невозможно обеспечить страну теплом. В связи с устареванием оборудования угольных электростанций и соответствующей энергетической инфраструктуры, и, как следствие, в связи с ростом числа аварий на угольных электростанциях, жители угольных регионов порой вынуждены находиться без отопления. В ночь на 27 ноября 2022 года в результате аварийной остановки нескольких котлоагрегатов на Экибастузской ТЭЦ (введена в эксплуатацию в 1956 году) часть города Экибастуз (численность населения более 145 тыс. человек⁸⁴) на несколько дней осталась без тепла и горячей воды при температуре -30°C. В городе было введено чрезвычайное положение, образовательные учреждения перешли на дистанционный формат обучения, была приостановлена работа детских садов. В некоторых жилых домах лопнули батареи.^{85, 86} В начале 2023 года температура воздуха в некоторых

82 IRENA (2019). Solutions to integrate high shares of variable renewable energy. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf.

83 European Commission (2023). Electricity market design. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/market-legislation/electricity-market-design_en.

84 AZ Nations (2023). Население Экибастуза 2023. URL: <https://ru.aznations.com/population/kz/cities/ekibastuz>.

85 Kazinform (2022). Одиннадцать домов в Экибастузе все еще остаются без подключения к теплу – акимат. URL: https://www.inform.kz/ru/odinnadcat-domov-v-ekibastuze-vse-esche-ostayutsya-bez-podklyucheniya-k-teplu-akimat_a4009481.

86 Tengri News (2023). Авария на Экибастузской ТЭЦ: дело направили в суд. URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/avariya-na-ekibastuzskoy-tets-delo-napravili-v-sud-502399/.

жилых помещениях Экибастуза по-прежнему была ниже 11–13°C.⁸⁷ Также аварии с отключением отопления зимой 2022–2023 гг. произошли в Астане, Петропавловске, Усть-Каменогорске, Жезказгане и Риддере.

Очевидно, что генерирующее оборудование и энергетическая инфраструктура в Казахстане в любом случае остро нуждаются в модернизации. Инерция подсказывает вкладывать средства в ремонт и строительство тех энергетических объектов, которые уже работают десятилетиями и хорошо знакомы местным инженерам, в частности, в угольные энергоблоки и котельные, а также в централизованные тепловые сети. Как и в случае с энергетическим переходом, это потребует огромных инвестиций, поскольку большую часть объектов необходимо заменить. В то же время технологии использования возобновляемых источников энергии продолжают дешеветь. Использование ископаемого топлива во многих странах дорожает из-за ужесточения экологических норм, роста цен на углерод и т.п. Последнее пока характерно в основном для Европы и США, но это уже начинает затрагивать и поставщиков продукции в эти страны. Таким образом, инвестируя в модернизацию и возрождение угля, Казахстан рискует потратить огромные средства на активы, эксплуатация которых обойдется дороже эксплуатации объектов возобновляемой энергетики. Более того, использование этих активов может в дальнейшем препятствовать экспорту казахстанской продукции в Европу, а со временем и в другие регионы (например, в Китай).

В то же время отделение производства тепла от производства электроэнергии и замена ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии может обеспечить более

высокую энергетическую безопасность и расширить возможности международного экономического сотрудничества как в традиционных, так и в новых для Казахстана отраслях. Одним из надежных и доступных решений в области теплоснабжения являются тепловые насосы. Они выступают одновременно как универсальные источники отопления и охлаждения, которые можно использовать круглый год. Это важный для Казахстана фактор, поскольку для страны характерна не только холодная зима, но и жаркое лето. В некоторых странах с холодными зимами тепловые насосы уже являются важнейшей технологией отопления. Например, в Норвегии они обеспечивают теплом более 60% зданий, в Швеции и Финляндии – более 40%.⁸⁸

Казахстан широко применяет централизованное теплоснабжение – им пользуется около 70% населения.⁸⁹ Тепловые насосы можно легко интегрировать в системы централизованного теплоснабжения и при этом значительно повысить общую эффективность последних. Существуют также тепловые насосы большой мощности, способные удовлетворить потребности в отоплении/охлаждении крупных зданий, промышленных объектов или целых районов. Помимо этого, централизованное теплоснабжение можно обеспечить за счет биоэнергетики. Котлы или теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) на твердом топливе (биомассе) могут сосуществовать с традиционными системами теплоснабжения, работающими на ископаемом топливе, или даже заменять их. Перечисленные технологии пока имеют весьма ограниченное применение в Казахстане.

87 Tengri News (2023). Жители Экибастуза снова замерзают в квартирах: на ТЭЦ прокомментировали ситуацию. URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/jiteli-ekibastuza-snova-zamerzayut-kvartirah-tets-491567/.

88 IEA (2022). The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>.

89 World Bank (2023). Europe and Central Asia: Toward a Framework for the Sustainable Heating Transition. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099092023140527206/pdf/P1774440fed3230ce089060ff8ce59c9f5e.pdf>.

Все эти новые способы производства тепла, а также производство возобновляемой электроэнергии могут способствовать диверсификации региональных экономик и созданию рабочих мест на местах. Социально-экономические аспекты – страх потери рабочих мест и экономической активности – являются еще одним препятствием на пути отказа от угля. Изменения все равно произойдут, и связанные с углем рабочие места со временем исчезнут ввиду изменения экономического ландшафта даже без планов по отказу от угля. Однако без предварительной подготовки бывшие угольные регионы могут превратиться в депрессивные зоны. Это в свою очередь может привести к росту социальной напряженности. Наличие стратегии постепенного отказа от угля позволит угольным регионам и городам выиграть время и подготовиться к предстоящим преобразованиям, диверсифицировать экономику, переобучить рабочую силу, профинансировать досрочный выход на пенсию бывших работников угольных предприятий и т. д.

В некоторых угольных моногородах Казахстана уже предпринимаются попытки диверсификации экономики. Например, в Экибастузе уже несколько лет планируется создание железнодорожного кластера. К концу 2024 года в Экибастузе планируется построить завод по производству локомотивных бандажей на 160 рабочих мест.⁹⁰ К концу 2023 года в городе должен открыться завод цветной металлургии на 800 рабочих мест.⁹¹ В 2020 году в городе был запущен пилотный проект – малая промышленная зона. Ее резидентами являются 18 малых и средних предприятий, которые в течение 5 лет будут

оплачивать только коммунальные услуги и смогут бесплатно пользоваться производственными площадями, обеспеченными необходимой инфраструктурой. До создания зоны предприниматели работали на дому.⁹² Это сигналы являются своевременными и позитивными. Тем не менее, зависимым от угольной промышленности городам по-прежнему необходимы комплексные и проработанные планы отказа от угля. Комплексный план социально-экономического развития Экибастуза на 2021–2025 гг. содержит как мероприятия, направленные на развитие неугольных отраслей, так и мероприятия, поддерживающие различные виды угольных производств. К числу первых относятся расширение малой промышленной зоны и формирование более крупной промышленной зоны, поддержка малого бизнеса, производство продукции железнодорожного кластера, производство технического кремния, строительство завода по производству шурупов и клемм, расширение тепличного комплекса. В угольной отрасли планируется создание научно-исследовательского центра углехимии и угольной промышленности в городе Экибастуз, переход на автоконвейерную технологию добычи и транспортировки угля, строительство угольного энергоблока № 3 на Экибастузской ГРЭС-2 и восстановление угольного энергоблока № 1 на Экибастузской ГРЭС-1.⁹³ Модернизация угледобычи и строительство новых блоков угольных электростанций означают, что отказ от угля не планируется ни в Экибастузе, ни в Казахстане, по крайней мере, в ближайшие 40 лет.

Для многих стран, которые в значительной степени зависят от угля, отказ от его использования может казаться невозможным.

90 Inbusiness (2023 год). Экибастуз планирует построить завод по производству локомотивных шин. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-planiruyut-postroit-zavod-po-proizvodstvu-lokomotivnyh-bandazhej>.

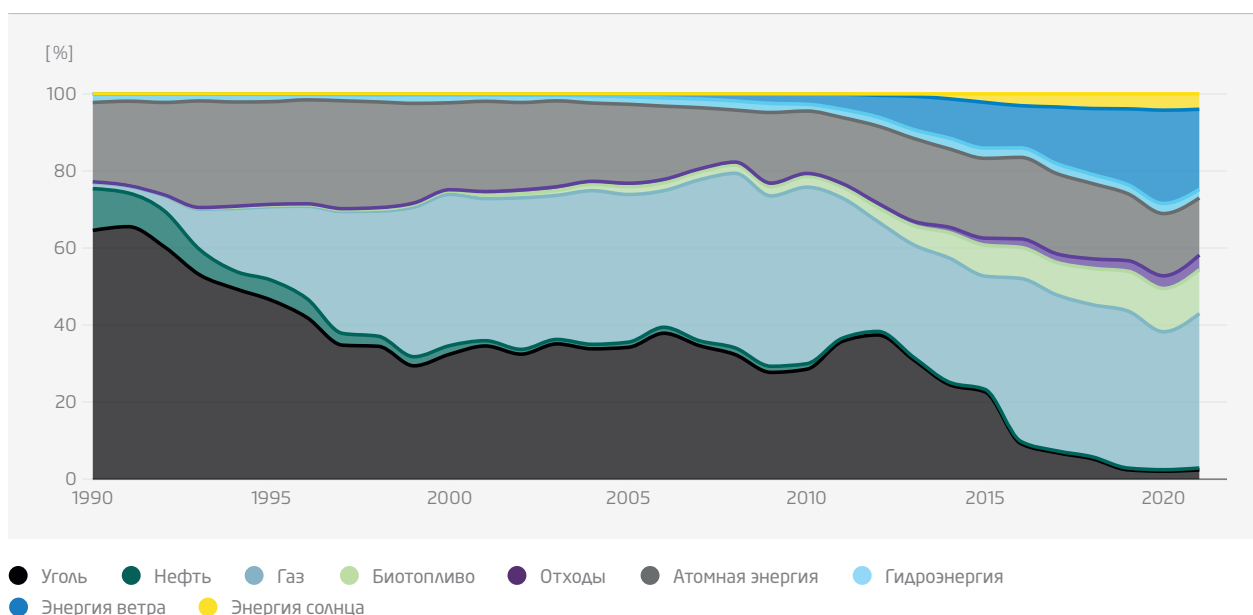
91 Inbusiness (2023 год). До конца года в Экибастузе планируется запустить завод цветной металлургии. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/do-konca-goda-v-ekibastuze-ozhidaetsya-zapusk-zavoda-cvetnoj-metallurgii>.

92 Inbusiness (2020). В Экибастузе открылась небольшая промышленная зона. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-otkrylas-malaya-industrialnaya-zona>.

93 Об утверждении Комплексного плана социально-экономического развития города Экибастуза Павлодарской области на 2021–2025 годы гг. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000819>.

Структура производства электроэнергии в Великобритании, 1990–2021 гг.

→ Рисунок 19

IEA (2023). United Kingdom. URL: <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>.

Однако такие отказы уже случались на практике. Один из наиболее ярких примеров – Великобритания, где уголь был важным элементом промышленной революции и важнейшей отраслью экономики на протяжении многих веков. Этот пример особенно интересен тем, что сокращение добычи, а затем и потребления угля в Великобритании началось по экономическим и экологическим причинам, причем задолго до того, как было принято официальное решение о постепенном отказе от угля.⁹⁴ Добыча угля в стране начала падать в середине XX века в связи с ростом издержек и усилением конкуренции. Число шахтеров сократилось с 607 тыс. в 1960 году до 1 тыс. в 2016 году⁹⁵, а последняя глубокая угольная шахта Келлингсли в Северном Йоркшире закрылась в декабре 2015 года.⁹⁶ В 2015 году угольные электростанции все еще

производили более 20% всей электроэнергии в стране, хотя значение этого показателя значительно снизилось по сравнению с 65% в 1990 году. К 2021 году доля угля в генерации упала ниже 3%, его в значительной степени заменил природный газ и возобновляемые источники энергии, особенно ветровые станции (Рисунок 19). В настоящее время угольные электростанции помогают удовлетворять лишь пиковый спрос на электроэнергию. Таким образом, за три десятилетия Великобритания практически полностью отказалась от использования угля в электроэнергетике, хотя в 1990 году он обеспечивал почти такую же долю электроэнергии, как сейчас в Казахстане – две трети.

Одним из ключевых этапов постепенного отказа от угля в Великобритании стало введение в 2013 г. углеродных цен (CPS). Изначально налог на выбросы углерода в атмосферу от производства электроэнергии составил 16 фунтов стерлингов (18,05 евро) за тонну CO₂ эквивалента, и затем он должен

94 Fothergill S. (2017). Coal Transition in the United Kingdom // IDDRI and Climate Strategies. URL: https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Rapport/201706-iddri-climatestrategies-coal_uk.pdf.

95 Там же.

96 Reuters (2015). Britain's last deep coal mine Kellingley Colliery closes. URL: <https://www.reuters.com/article/uk-britain-coal-idUKKBN0U11BU20151218>.

был расти.⁹⁷ Это негативно сказалось на экономической привлекательности угля. В 2017 году Великобритания и Канада создали Альянс против угля (Powering Past Coal Alliance)⁹⁸, что подтвердило приверженность Великобритании постепенному отказу от угольной энергетики. В 2015 году правительство Великобритании первым в мире заявило

о своей цели полностью исключить угольную генерацию к 2025 году.⁹⁹ Позже этот срок был перенесен на 1 октября 2024 года.¹⁰⁰

Как показывает опыт Великобритании, а также результаты моделирования, представленные в данном исследовании, даже если Казахстан решит отказаться от угля в ближайшем будущем, этот путь займет не менее трех десятилетий. Однако в этом случае времени будет вполне достаточно для достижения углеродной нейтральности к 2060 году.

97 LSE (2019). What is a carbon price and why do we need one? URL: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-a-carbon-price-and-why-do-we-need-one/>.

98 The Guardian (2021). Cancel all planned coal projects globally to end 'deadly addiction', says UN chief. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/02/cancel-all-planned-coal-projects-globally-to-end-deadly-addiction-says-un-chief>.

99 PPCA (2023). United Kingdom. URL: <https://poweringpastcoal.org/members/united-kingdom/>.

100 UK Government (2021). End to coal power brought forward to October 2024. URL: <https://www.gov.uk/government/news/end-to-coal-power-brought-forward-to-october-2024>.

5 Хрупкий лед на пути к декарбонизации электроэнергетики

Для преодоления сложностей энергетического перехода необходим подход, учитывающий необходимость реформирования электроэнергетики и необходимость осуществления значительных инвестиций в модернизацию устаревающей инфраструктуры. Хотя наиболее простые пути и сохранение привычного технологического ландшафта, например, угольных (включая ТЭЦ) и газовых электростанций, или частичный переход с угля на природный газ, могут показаться заманчивыми, они несут в себе значительные риски. Поиск простых путей может привести к потере драгоценного времени, появлению невостребованных активов и к снижению энергетической безопасности. В конечном счете это увеличит затраты на поддержание функционирования энергосистемы по сравнению с переходом непосредственно на ВИЭ.

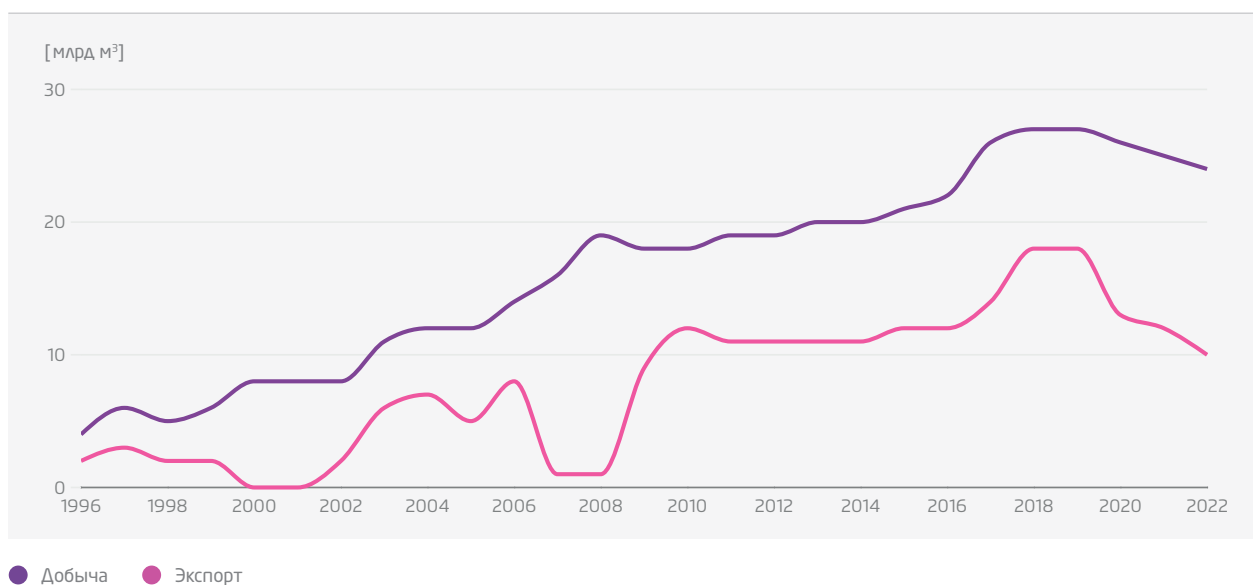
В данном разделе рассматриваются риски, связанные с реализацией вышеупомянутых простых решений.

5.1 Переход от угля к газу

В течение многих лет природный газ рассматривался как переходный энергоноситель при транзите к безуглеродной энергосистеме. Война России в Украине поставила возможность использования данного переходного энергоносителя под вопрос для многих стран, особенно для ЕС, где появилась срочная необходимость отказа от российского газа. Однако сомнения в том, что природный газ может использоваться как переходное топливо, возникали и ранее, поскольку использование газа может

Добыча и экспорт газа в Казахстане

→ Рисунок 20



● Добыча ● Экспорт

OPEC (2023). Data download. URL: https://asb.opec.org/data/ASB_Data.php.

потенциально препятствовать энергетическому переходу, отвлекая инвестиции от возобновляемых источников энергии.^{101,102}

По данным ОПЕК, в 2022 году Казахстан занял 21-е место в мире по доказанным запасам природного газа, 30-е место по добыче и 25-е место по экспорту.¹⁰³ Однако внутреннее потребление газа в Казахстане растет, что создает угрозу его экспорту и даже угрозу возникновения дефицита газа внутри страны (Рисунок 20). Опасность дефицита отмечали, в частности, вице-министр энергетики Жандос Нурмаганбетов,¹⁰⁴ а также президент Касым-Жомарт Токаев.¹⁰⁵

В то же время, как справедливо отметил президент страны,¹⁰⁶ ограничение продажи природного газа на внешних рынках для обеспечения поставок на внутреннем рынке повлечет за собой экономические потери. Казахстан продает свой газ за рубежом по более высоким ценам, чем внутри страны. Экспорт газа уже осуществляется по остаточному принципу, после полного удовлетворения внутренних потребностей. Зимой 2023–2024 гг. в Казахстане даже обсуждалась возможность полного прекращения экспорта

газа.¹⁰⁷ Казахстан (совместно с Туркменистаном и Узбекистаном) в основном поставляет газ в Китай по газопроводу Центральная Азия – Китай. Узбекистан также столкнулся с дефицитом энергии и, в частности, с нехваткой собственного газа для внутренних нужд. По этой причине в ближайшее время Узбекистан может прекратить поставки газа на юг Казахстана.¹⁰⁸

Экономия природного газа за счет прямого транзита к возобновляемым источникам энергии, минуя этап использования газа в качестве переходного топлива, позволит Казахстану продавать газ на внешних рынках по более высоким ценам. В некоторых случаях переход с угля на газ будет трудно избежать, особенно в крупных городах, страдающих от вредных выбросов угольных электростанций, таких как Алматы, Астана, Караганда. Многие электростанции в этих городах производят не только электричество, но и тепло, которое подается через системы центрального отопления. Комбинированные теплоэлектростанции (ТЭЦ) будет сложно быстро заменить на ВИЭ, поскольку это потребует инвестиций не только в зеленую электроэнергетику, но и в зеленую тепловую энергетику, а также в соответствующую энергетическую инфраструктуру. Однако целесообразно ограничить переход с угля на газ только случаями крайней необходимости, когда снижение вредных выбросов остро требуется на протяжении многих лет. В менее критических ситуациях имеет смысл переходить непосредственно с угля на ВИЭ, минуя переходные этапы.

Но даже в случае острой необходимости перехода от угля к газу следует учитывать, что в более долгосрочной перспективе зеленый

101 IISD (2021). Gas Is Not a Bridge Fuel, It's a Wall. So Why Are Governments Still Financing It? URL: <https://www.iisd.org/articles/gas-bridge-fuel>.

102 Gürsan C., de Gooyert V. (2021). The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition? // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – Vol. 138, 110552. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110552>.

103 OPEC (2023). Data download. URL: https://asb.opec.org/data/ASB_Data.php.

104 Sputnik (2023). В Казахстане назревает дефицит газа – Министерство энергетики. URL: <https://ru.sputnik.kz/20230622/v-kazakhstane-nazrevaet-defitsit-gaza--minenergo-36243718.html>.

105 Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2022). Выступление Главы государства Касым-Жомарта Токаева на расширенном заседании Правительства. URL: <https://akorda.kz/ru/vystuplenie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-na-rasshirennom-zasedanii-pravitelstva-1463854>.

106 Там же.

107 Zakon (2023). Закрутили вентиль: почему Казахстан может отказаться от экспорта газа. URL: <https://www.zakon.kz/stati/6388799-zakrutili-ventil-pochemu-kazakhstan-mozhet-otkazatsya-ot-eksporta-gaza.html>.

108 Там же.

водород может заменить ископаемый газ. Поэтому все новые газовые мощности должны быть готовы к использованию водорода, а национальная политика в области газовой энергетики требует более тщательного анализа. Такой подход поможет Казахстану избежать инвестиций в многочисленные потенциально проблемные активы.

5.2 Переход от угля к «зеленому» углю

Казахстан – одна из немногих стран мира, где до сих пор обсуждается строительство новых угольных электростанций. Чтобы сделать эту дискуссию менее противоречивой и остаться в контексте амбициозных климатических целей страны, многие чиновники и представители компаний иногда говорят о загадочном «зеленом» или «чистом» угле. Так, например, в 2022 году премьер-министр Алихан Смаилов заявил о планах по развитию «чистых» угольных технологий наряду с технологиями возобновляемой энергетики, современной газовой и атомной генерации.¹⁰⁹ Как пояснил министр энергетики Болат Акчулаков, такие технологии предполагают максимально безотходное использование угля. По словам самого министра, во всем мире такие технологии пока носят экспериментальный характер. Несмотря на это, Казахстан намерен запустить проект «чистого угля» для эффективного использования угольных запасов в энергетике страны.¹¹⁰

Одна из идей по «очищению» угля заключается в использовании технологий улавливания и хранения углерода (CCS). В 2021 году национальная нефтегазовая компания Республики Казахстан «КазМунайГаз» и компания «Шелл Казахстан Б.В.» подписали Меморандум о сотрудничестве в области развития технологии улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS).¹¹¹ Аналогичный документ в 2022 году был подписан между «КазМунайГазом» и «Шеврон».¹¹² С 2022 года «КазМунайГаз» разрабатывает пилотный проект по улавливанию и хранению диоксида углерода и определению потенциала закачки CO₂ для увеличения нефтеотдачи выработанных нефтяных пластов.¹¹³ «Самрук-Казына» (инвестиционная холдинговая компания, единственным акционером которой является Правительство Республики Казахстан) в своей концепции низкоуглеродного развития прогнозирует, что в одном из сценариев (сценарий декарбонизации) доля тепловых электростанций с технологиями улавливания, утилизации и хранения углерода может составить 13% к 2032 году, в другом (сценарий глубокой декарбонизации) – 7% к 2040 году. Организация также активно исследует возможность внедрения технологий CCUS в Казахстане.¹¹⁴

Как отмечается в одном из исследований IRENA, технологии улавливания и утилизации углерода (CCU), улавливания и хранения углерода (CCS) и удаления диоксида углерода (CDR) часто объединяют в технологии

109 Официальный информационный ресурс Премьер-министра Республики Казахстан (2022). Внедрять технологии «чистого угля» и развивать возобновляемую энергетику планируется в Казахстане. URL: <https://primeminister.kz/ru/news/vnedryat-tehnologii-chistogo-uglya-i-razvivat-vozobnovlyаемую-energetiku-planiruyetsya-v-kazahstane-1893523>.

110 Kazinform (2022). Более экологичные методы использования угля рассматривает Минэнерго. URL: https://www.inform.kz/ru/bolee-ekologichnye-metody-ispol-zovaniya-uglya-rassmatrivayet-minenergo_a3991682.

111 КазМунайГаз (2021). «КазМунайГаз» и «Шелл» договорились о сотрудничестве в сфере улавливания, утилизации и хранения углерода. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases/876/>.

112 КазМунайГаз (2022). «КазМунайГаз» и «Шеврон» объявили о сотрудничестве для изучения потенциальных возможностей в области снижения выбросов углерода. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases/956/>.

113 КазМунайГаз (2022). Отчет об устойчивом развитии. URL: https://www.kmg.kz/upload/iblock/637/7xc3c1111d0zzuzrmpmlzd0byw6esnmi/KMG_RU_29.08.23_Spread.pdf.

114 Самрук-Казына (2022). Концепция низкоуглеродного развития Самрук-Казына. URL: https://sk.kz/investors/financial-performance/reports/low-carbon_development_concept_ru.pdf.

улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS), что неверно, поскольку эти технологии имеют принципиальные различия.¹¹⁵ В Казахстане технологии улавливания и утилизации углерода (CCU) и улавливания и хранения углерода (CCS) находятся на самой начальной стадии обсуждения. В мировом масштабе данные технологии уже вышли за пределы лаборатории. Тем не менее, они еще далеки от полноценного коммерческого применения (в мире существует не так много тепловых электростанций с CCS) и достаточно затратны в использовании. По существующим оценкам, использование технологий улавливания и хранения углерода увеличивает стоимость генерации на 70%–100%, что делает электроэнергию, производимую на угольных электростанциях с CCS, дороже солнечной и ветровой.¹¹⁶¹¹⁷ Кроме того, капитальные затраты на технологии улавливания и хранения углерода представлены в основном балансовыми компонентами системы, и поэтому они не могут существенно снизиться даже в случае внедрения инноваций.

Следует также отметить, что внедрение технологий CCS на электростанции снижает ее общую энергоэффективность. Процесс улавливания, транспортировки и хранения углекислого газа требует значительных затрат энергии, что снижает чистую генерацию электростанции. Кроме того, хранение диоксида углерода под землей сопряжено с потенциальными экологическими рисками, включая возможность утечек и загрязнения грунтовых вод. Кроме того, не имеет смысла добывать уголь, сжигать его, улавливать выбросы, а затем хранить их, особенно в

случаях, когда имеются менее вредные для окружающей среды и более доступные решения, такие как возобновляемые источники энергии.

Еще один очень важный аспект, касающийся роли технологий CCS, CCU и CDR, заключается в том, что их роль в декарбонизации часто понимается неправильно – они не должны использоваться для снижения выбросов, возникающих в результате обычного использования ископаемого топлива, а должны применяться в тех случаях, когда выбросы неизбежны.¹¹⁸ Такие технологии понадобятся в цементной, сталелитейной и химической промышленности, но не в угольной генерации, поскольку угольные электростанции можно заменить возобновляемыми источниками энергии. Таким образом, технологии улавливания и хранения углерода, улавливания и утилизации углерода, а также удаления диоксида углерода могут сыграть очень важную роль в достижении углеродной нейтральности, но не в угольном секторе и не в ближайшие годы.

Как уже отмечалось в предыдущей главе, некоторые существующие угольные электростанции могут способствовать повышению гибкости энергосистемы Казахстана, которое в свою очередь облегчит интеграцию переменных ВИЭ в сеть в среднесрочной перспективе. Строительство новых угольных электростанций при этом не является оправданным. Кроме того, должен быть разработан план постепенного и справедливого вывода из эксплуатации существующих угольных мощностей.

115 IRENA (2021). Reaching Zero with Renewables. Capturing Carbon. URL: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Technical-papers/IRENA_Capturing_Carbon_2021.pdf?rev=b05359177504164aab7fad527b35e0d.

116 Wood Mackenzie (2022). Renewable power in Asia Pacific gains competitiveness amidst cost inflation. URL: <https://www.woodmac.com/press-releases/renewable-power-in-asia-pacific-gains-competitiveness-amidst-cost-inflation/>.

117 Lazard (2023). Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis—Version 16.0. URL: <https://www.lazard.com/media/typdgxmm/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>.

118 IRENA (2021). Reaching Zero with Renewables. Capturing Carbon. URL: https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Technical-papers/IRENA_Capturing_Carbon_2021.pdf?rev=b05359177504164aab7fad527b35e0d.

6 Заключение

В ближайшие несколько лет Казахстану предстоит сделать выбор между попытками любой ценой сохранить существующую структуру электроэнергетики (и статус-кво всей экономики) и переходом электроэнергетики с угля непосредственно на возобновляемые источники энергии. Этот выбор определит сигналы, которые Казахстан будет посылать отечественным и иностранным инвесторам далеко за пределами электроэнергетической отрасли.

Если страна отдаст предпочтение новым крупным традиционным электростанциям, то ей с большой вероятностью придется финансировать их за счет государственных средств или иностранных кредитов в условиях сокращения числа финансовых институтов, которые еще готовы финансировать, например, угольную генерацию. Это не позволит создать основу для развития современной экологически чистой и социально инклюзивной экономики и ее новых отраслей с высокой добавленной стоимостью, таких как электротранспорт, технологии Power-to-X, а также производство любой углеродно-нейтральной продукции. Основная нагрузка по подготовке к переходу к зеленой экономике ложится на электроэнергетику. Не до конца реформированная и модернизированная отрасль электроэнергетики просто не выдержит столь масштабного перехода.

И совсем другие перспективы открываются перед Казахстаном, если страна решит начать энергетический переход уже сейчас, создав гибкую и конкурентоспособную электроэнергетику и интегрировав в нее как можно больше ВИЭ переменного характера. Такая модернизированная электроэнергетика впоследствии поможет открыть двери для иностранных частных инвестиций во

многие другие отрасли и укрепить лидерство Казахстана в Центральной Азии, а возможно, и за ее пределами.

В данном исследовании для моделирования энергосистемы Казахстана в 2030 году используется модель Python for Power System Analysis (PyPSA). В модели присутствуют как традиционные, так и возобновляемые источники энергии, а задачей моделирования является определение оптимальной структуры генерации при различных сценариях. Сценарии проясняют возможные изменения в энергетическом ландшафте Казахстана с учетом амбициозных целей и стратегических планов страны в области энергетики.

Сценарий «бизнес как обычно» (BAU) предусматривает, что доля переменных ВИЭ в генерации в 2030 году составит 15%, что соответствует действующим стратегическим документам и целям до 2030 года. Сценарий «улучшенный бизнес как обычно» (iBAU) предусматривает немного более высокую долю переменных ВИЭ – 20%. Сценарий «оптимизация структуры генерации по затратам» (OPT) оценивает, какой объем угольных мощностей можно экономически выгодно сократить в Казахстане к 2030 году при условии оптимизации затрат на генерацию и при сохранении существующих мощностей линий электропередачи. В сценарии «оптимизация структуры генерации и мощностей линий электропередачи по затратам» (OPT²) оптимизируются как генерация, так и мощности электропередачи. Все сценарии различаются по доле переменных ВИЭ (солнечных и ветровых электростанций) и доле угля в структуре генерации, что позволяет получить ценное представление о возможных траекториях трансформации электроэнергетики страны.

Согласно сценариям, к 2030 году значительно увеличится общая установленная мощность казахстанской энергосистемы при заметном снижении доли угля как в структуре мощности (с нынешних 55% до менее 30%), так и в структуре генерации (с нынешних 67% до менее 50%), что будет свидетельствовать о переходе страны к более чистому и диверсифицированному электроэнергетическому портфелю. Этот сдвиг будет обусловлен значительным развитием солнечной и ветровой энергетики, с увеличением мощности СЭС и ВЭС до пяти раз по сравнению с текущим уровнем. Очень важно обратить внимание на связь этих сценариев с климатическими обязательствами, в частности, с определяемым на национальном уровне вкладом (ОНУВ) Казахстана в рамках Парижского соглашения до 2030 года. Выполнение безусловного целевого показателя в рамках ОНУВ до 2030 года предусматривает сокращение выбросов парниковых газов на 15% по сравнению с уровнем 1990 года, что в свою очередь требует существенного снижения доли угля в производстве электроэнергии – до 40%. Сценарий ОРТ², в котором доля угля в генерации составляет минимальные 45%, а годовые капитальные затраты на 11% ниже, чем в сценарии ВАУ, представляется хорошей стратегией, которая делает возможным как повышение экономической эффективности, так и выполнение климатических целей. Согласно результатам расчетов, в 2030 году наиболее дешевыми источниками энергии в Казахстане будут солнечная фотоэлектрическая и ветровая энергия. Во всех сценариях приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) в 2030 году для этих возобновляемых источников энергии будет почти в два раза (на 47–62%) ниже, чем для новых угольных электростанций.

Энергетический переход сопряжен с множеством сложностей, число которых будет расти по мере увеличения доли переменных ВИЭ в энергосистеме. Поиск тонкого баланса, необходимого в вопросах роста доли солнечной и

ветровой генерации, стимулирования необходимых инвестиций, постепенного отказа от устаревшей угольной инфраструктуры и ограничения скачков цен на электроэнергию, требует тщательного стратегического планирования. Заманчивые простые шаги, такие как быстрый переход с угля на газ или строительство новых угольных мощностей и их декарбонизация с помощью технологий улавливания и хранения углерода сопряжены со значительными рисками возникновения невостребованных активов, снижения энергетической безопасности и роста затрат. Для обеспечения успешного перехода к устойчивой и эффективной энергетике, предотвращения неоправданных расходов и негативных последствий, необходим взвешенный подход.

В период до 2030 г. решение проблемы интеграции переменных ВИЭ предполагает избавление от сопутствующих мифов и заблуждений, поиск реальных решений и диверсификацию структуры генерации. К первостепенным приоритетам Казахстана относится укрепление и развитие сетей, включая объединение западной энергозоны с остальной частью энергосистемы для повышения стабильности и эффективной транспортировки возобновляемой электроэнергии на большие расстояния. Гибкая генерация (включая диспетчеризуемые ВИЭ), накопители энергии, а также точное прогнозирование переменной выработки будут играть ключевую роль в обеспечении плавного перехода. Межсекторальная интеграция в энергетике, управление спросом и использование возобновляемой микрогенерации также внесут важный вклад в создание надежной и сбалансированной энергосистемы, основанной на ВИЭ, соответствующей целям устойчивого развития энергетики страны.

В более отдаленной перспективе, до 2050 года, интеграция электролизеров и электромобилей может дополнительно повысить гибкость энергосистемы. Комплексный подход,

сочетающий в себе стратегии во всех секторах энергетики, направленные на развитие ВИЭ с учетом местных условий, имеет решающее значение для достижения устойчивого и стабильного энергетического будущего Казахстана. Меняющийся энергетический ландшафт требует комплексных преобразований и тщательного планирования с учетом современных тенденций и постепенного отказа от угля, в целях минимизации потерь от невостребованных активов в будущем и позиционирования Казахстана как одного из лидеров глобальной энергетической трансформации.

Модель электроэнергетического рынка имеет решающее значение для интеграции высокой доли переменных ВИЭ в сеть с низкими затратами. Эволюция рынка электроэнергии в Казахстане в последние десятилетия привела к переходу от вертикально интегрированной монополии к более диверсифицированной и частично либерализованной мультирыночной системе. Последняя значительная трансформация произошла 1 июля 2023 года, когда Казахстан перешел на модель единого закупщика электроэнергии и официально запустил балансирующий рынок электроэнергии в режиме реального времени. Внедрение механизма единого закупщика направлено на смягчение воздействия высоких тарифов новых электростанций или дорогостоящей импортной электроэнергии на отдельных потребителей. Модель призвана помочь сохранить баланс между доступными ценами и инвестициями за счет распределения тарифов между потребителями, а также за счет выравнивания цен на электроэнергию в разных регионах. В мире существует единое мнение, что хорошо спроектированные либерализованные рынки электроэнергии могут обеспечить максимальную эффективность, особенно с учетом необходимости интеграции ВИЭ. Учитывая это, модель единого закупщика

целесообразно использовать в Казахстане в качестве промежуточного шага на пути к полностью либерализованным и конкурентным рынкам.

Решение о постепенном отказе от угля является для Казахстана особенно сложным, поскольку оно может иметь сложные социальные и экономические последствия, а также последствия для энергетической безопасности. Кроме того, для энергетического сектора характерен традиционный консерватизм. Однако ключевые аргументы в пользу угольной энергетики в Казахстане постепенно теряют свою актуальность. Так, например, энергетическая безопасность страны и особенно стабильность теплоснабжения в суровые зимние периоды попадают под угрозу по причине устаревания угольных электростанций и соответствующей инфраструктуры, а также частых аварий, приводящих к перебоям.

Отделение генерации тепловой энергии от выработки электроэнергии и переход на возобновляемые источники энергии в обоих секторах способствуют повышению энергетической безопасности и ускорению международного экономического сотрудничества. Тепловые насосы способны эффективно удовлетворять потребности как в отоплении, так и в охлаждении, что крайне важно для резко континентального климата Казахстана. Распространенные в стране системы централизованного теплоснабжения могут быть интегрированы с тепловыми насосами, что значительно повысит общую эффективность теплоснабжения.

Социально-экономический аспект, особенно опасения по поводу потери рабочих мест, часто препятствует реализации инициатив по постепенному отказу от угля. Однако хорошо разработанный план постепенного отказа позволит регионам подготовиться к диверсификации экономики, провести переподготовку рабочей силы и обеспечить

ранний выход на пенсию работников угольной отрасли. Некоторые города Казахстана, которые зависят от угля, уже стремятся диверсифицировать свою экономику, что свидетельствует о жизнеспособности хорошо подготовленного перехода.

Пример некоторых стран (Великобритании), которые успешно отказались от использования угля в энергетике, подчеркивает практическую выполнимость энергетического перехода. В случае Казахстана поэтапный подход, рассчитанный как минимум на три десятилетия, представляется вполне реальным. Международные примеры и результаты моделирования показывают, что отказ от угля является достижимой целью, реализация которой позволит выполнить другую важнейшую цель для устойчивого будущего – переход к углеродной нейтральности к 2060 году.

Глоссарий

Понятие

**Базовая генерация /
Baseload generation**

**Газовая турбина откры-
того цикла / Open cycle gas
turbine (OCGT)**

**Зеленый водород /
Green hydrogen**

**Межсекторальная интегра-
ция / Sector coupling**

**Невостребованные активы /
Stranded assets**

**Определяемый на наци-
ональном уровне вклад
(ОНУВ) / Nationally
determined contribution (NDC)**

**Парогазовые установки /
Combined cycle power plant
(CCGT)**

**Переменные ВИЭ / Variable
renewables**

**Приведенная стоимость
энергии / Levelized cost of
energy (LCOE)**

**Принудительное ограни-
чение генерации на ВИЭ /
Curtailment of renewables**

**Реагирование на спрос /
Demand response**

**Средневзвешенная стои-
мость капитала / Weighted
average cost of capital
(WACC)**

Определение

Режим производства электроэнергии, который обеспечивает постоянный и надежный уровень генерации для удовлетворения минимального спроса в сети в любой момент времени

Вырабатывает энергию за счет расширения сжатого воздуха и высокотемпературных дымовых газов высокого давления. В установках с открытым циклом отработанные газы выбрасываются в окружающую среду

Водород, получаемый с использованием 100% возобновляемой электроэнергии путем электролиза, обычно рассматривается как экологически чистый и устойчивый энергоноситель

Интеграция различных секторов энергетики (электроэнергетика, теплоснабжение, энергия для транспорта) для оптимизации использования энергии и сокращения отходов

Активы, которые устарели или стали невостребованными до окончания ожидаемого срока их полезного использования

Принятые странами в рамках Парижского соглашения обязательства по сокращению выбросов парниковых газов и достижению конкретных индивидуальных целей

Сочетают в себе функции как газовой, так и паровой турбины. Такие установки используют отработанное тепло выхлопа газовой турбины для производства пара, который приводит в движение паровую турбину

Возобновляемые источники энергии, такие как ветровая и солнечная фотоэлектрическая энергия, которые не всегда доступны для генерации, в отличие от постоянных источников, таких как энергия воды или геотермальная энергия

Средняя чистая расчетная себестоимость производства единицы электроэнергии (обычно 1 МВт*ч) в течение жизненного цикла генерирующего актива

Сокращение или ограничение выработки возобновляемой электроэнергии по различным причинам, например, из-за переизбытка генерации или из-за ограничений сети

Изменение потребления электроэнергии в ответ на ценовые или стимулирующие сигналы, часто с целью балансирования спроса и предложения

Стоимость капитала, с учетом стоимости различных источников капитала и их долей

Технологии Power-to-X (PtX или P2X)	Технологии, преобразующие избыточную возобновляемую электроэнергию в газы (например, зеленый водород), жидкости (синтетическое топливо) или тепло; термин охватывает большое количество технологий
Углеродная нейтральность / Carbon neutrality	Достижение баланса между выбросами углекислого газа и его удалением из атмосферы, что приводит к нулевому углеродному следу
Удаление диоксида углерода / Carbon dioxide removal (CDR)	Технологии и подходы, направленные на удаление углекислого газа из атмосферы, способствующие достижению углеродной нейтральности или отрицательных выбросов
Улавливание и утилизация углерода / Carbon capture and utilization (CCU)	Процесс, в ходе которого углекислый газ, выбрасываемый различными источниками, такими как электростанции или промышленные предприятия (например, сталелитейные или цементные производства), а также углекислый газ из воздуха, улавливается и используется для производства ценных продуктов или материалов (например, синтетического топлива)
Улавливание и хранение углерода / Carbon capture and storage (CCS)	Процесс, в ходе которого углекислый газ, выбрасываемый различными источниками, такими как электростанции или промышленные предприятия (например, сталелитейные или цементные производства), улавливается и хранится под землей
Управление спросом на электроэнергию / Electricity demand management	Стратегии и инструменты регулирования структуры и уровня потребления электроэнергии с целью оптимизации энергопотребления
Усиление сети / Grid reinforcement	Модернизация, обновление или усиление существующих линий электропередачи и связанных с ними компонентов передающих и распределительных сетей для повышения их пропускной способности, надежности и эффективности, а также для интеграции новых источников энергии
Электролизер / Electrolyser	Устройство, использующее электричество для расщепления воды на водород и кислород, ключевая технология производства зеленого водорода
PyPSA (Python for Power System Analysis)	Модель на основе языка Python, используемая для анализа и моделирования энергосистем с целью построения сценариев развития энергетики

Список использованных источников на русском языке

AZ Nations (2023). *Население стран мира.*

URL: <https://ru.aznations.com/population/kz/cities/ekibastuz>.

Служба центральных коммуникаций при Президенте Республики Казахстан (2023).

URL: <https://ortcom.kz/ru/deyatelnost-pravitelstva/1688116720>.

Самрук-Қазына (2022). *Концепция*

низкоуглеродного развития АО «Самрук-Қазына». URL: https://sk.kz/investors/financial-performance/reports/low-carbon_development_concept_ru.pdf.

КазМунайГаз (2021). *«КазМунайГаз» и «Шелл»*

договорились о сотрудничестве в сфере улавливания, утилизации и хранения углерода. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases/876/>.

КазМунайГаз (2022). *«КазМунайГаз» и «Шеврон»*

объявили о сотрудничестве для изучения потенциальных возможностей в области снижения выбросов углерода. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases/956/>.

Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 263.

«Об утверждении Концепции развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан на 2023–2029 годы». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000263>.

Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121. *«Об утверждении*

Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>.

Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577. *«О Концепции по переходу*

Республики Казахстан к “зеленой экономике”». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U1300000577>.

Inbusiness (2020). *В Экибастузе открылась малая индустриальная зона.*

URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-otkrylas-malaya-industrialnaya-zona>.

Inbusiness (2023). *До конца года в Экибастузе*

ожидается запуск завода цветной металлургии. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/do-konca-goda-v-ekibastuze-ozhidaetsya-zapusk-zavoda-cvetnoj-metallurgii>.

Inbusiness (2023). *В Экибастузе планируют*

построить завод по производству локомотивных бандажей. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-planiruyut-postroit-zavod-po-proizvodstvu-lokomotivnyh-bandazhej>.

Inbusiness (2023). *В Экибастузе обещают*

построить ГРЭС-3 до 2029 года. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/v-ekibastuze-obeshayut-postroit-gres-3-do-2029-goda>.

Расчетно-финансовый центр по поддержке возобновляемых источников энергии (2023).

О компании. URL: <https://www.rfc.kz/about>.

Расчетно-финансовый центр по поддержке возобновляемых источников энергии (2023).

Результаты аукционных торгов.

URL: <https://rfc.kz/en/auctions/results>.

Forbes (2019). *44% государственного бюджета Казахстана формирует нефтегазовый сектор.*

URL: https://forbes.kz/process/energetics/44_gosudarstvennogo_byudjeta_kazahstana_formiruet_neftegazovyy_sektor/.

Forbes (2022). Эксперты об АЭС в Казахстане: Есть плохой вариант и ещё хуже. URL: https://forbes.kz/process/energetics/ekspertyi_ob_aes_v_kazahstane_est_plohoy_variant_i_esche_huje/.

Forbes (2023). Проект на \$50 миллиардов: как в Казахстане будут производить «зелёный» водород. URL: https://forbes.kz/economy/energy-subsoil/kak_v_kazahstane_realizuyut_proekt_po_proizvodstvu_zelenogo_vodoroda_stoimostyu_50_mlrld/.

Kazenergy (2021). Национальный энергетический доклад Kazenergy 2021. URL: https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_en.pdf.

Kazinform (2022). Одиннадцать домов в Экибастузе все еще остаются без подключения к теплу – акимат. URL: https://www.inform.kz/ru/odinnadcat-domov-v-ekibastuze-vse-esche-ostayutsya-bez-podklyucheniya-k-teplu-akimat_а4009481.

Kazinform (2022). Более экологичные методы использования угля рассматривает Минэнерго. URL: https://www.inform.kz/ru/bole-ekologichnye-metody-ispol-zovaniya-uglya-rassmatrivaet-minenergo_а3991682.

Kazinform (2023). Стали известны сроки строительства ГРЭС-3 в Экибастузе. URL: https://www.inform.kz/ru/stali-izvestny-sroki-stroitelstva-gres-3-v-ekibastuze_а4028889.

КазМунайГаз (2022). Отчет об устойчивом развитии. URL: https://www.kmg.kz/upload/iblock/637/7xc3c1111d0zzuzrmpmlzd0byw6esnmf/KMG_RU_29.08.23_Spread.pdf.

Казахстанская правда (2022). Что не так с ночным тарифом? URL: <https://kazpravda.kz/n/что-не-так-с-ночным-тарифом/>.

KEGOC (2017-2021). Годовые отчеты 2017–2021. URL: <https://www.kegoc.kz/ru/for-investors-and-shareholders/raskrytie-informatsii/annual-reports/>.

KEGOC (2022). АО «KEGOC»: опережающее развитие НЭС Казахстана сейчас – требование времени. URL: <https://www.kegoc.kz/ru/press-center/mass-media-about-the-company/158042/>.

KEGOC (2023). Проект Объединение энергосистемы Западного Казахстана с ЕЭС Казахстана URL: <https://www.kegoc.kz/ru/about/investicionnye-proekty/155662/>.

Ким И. (2023). Перспективы внедрения программы регулирования спроса в Казахстане. URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/analytics/1424/>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2023). О системе балансирующего рынка электрической энергии. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/589399?lang=ru>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ за I полугодие 2023 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/496972?lang=ru>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Концепция развития электроэнергетической отрасли Республики Казахстан до 2035 года.
URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/349883?lang=ru>.

Министерство энергетики Республики Казахстан (2022). Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ по итогам 2022 года. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/403997?lang=ru>.

Национальный Банк Республики Казахстан (2023). График принятия решений по базовой ставке 2015–2023. URL: <https://www.nationalbank.kz/ru/news/grafik-prinyatiya-resheniy-po-bazovoy-stavke/rubrics/1843>.

Бюро Национальной Статистики (2023). Топливо-энергетический баланс Республики Казахстан (2022г.) (2022). URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-energy/publications/5186/>.

Официальный информационный ресурс Премьер-Министра Республики Казахстан (2022). Казахстан готов стать региональным центром развития возобновляемых источников энергии – Алихан Смаилов.
URL: <https://primeminister.kz/ru/news/kazahstan-gotov-stat-regionalnym-centrom-razvitiya-vozobnovlyаемых-istochnikov-energii-alihan-smailov-8101253>.

Официальный информационный ресурс Премьер-Министра Республики Казахстан (2022). Внедрять технологии «чистого угля» и развивать возобновляемую энергетику планируется в Казахстане.
URL: <https://primeminister.kz/ru/news/vnedryat-tehnologii-chistogo-uglya-i-razvivat-vozobnovlyаемую-energetiku-planiruetsya-v-kazahstane-1893523>.

Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Выступление Президента Республики Казахстан К.Токаева на пленарной сессии Международного форума Астана.
URL: <https://www.akorda.kz/ru/vystuplenie-prezidenta-respubliki-kazahstan-ktokaeva-na-plenarnoy-sessii-mezhdunarodnogo-foruma-astana-851830>.

Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2021). Глава государства провел совещание по вопросам развития электроэнергетической отрасли.
URL: <https://akorda.kz/en/the-head-of-state-held-a-meeting-on-the-development-of-the-electric-power-industry-2641630>.

Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Президенты Казахстана и Германии провели переговоры в расширенном формате. URL: <https://www.akorda.kz/en/kassym-jomart-tokayev-and-frank-walter-steinmeier-hold-negotiations-in-extended-format-205383>.

Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2023). Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана». URL: <https://www.akorda.kz/en/president-kassym-jomart-tokayevs-state-of-the-nation-address-economic-course-of-a-just-kazakhstan-283243>.

Официальный сайт Президента Республики Казахстан (2022). Выступление Главы государства Касым-Жомарта Токаева на расширенном заседании Правительства.
URL: <https://akorda.kz/ru/vystuplenie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-na-rasshirennom-zasedanii-pravitelstva-1463854>.

Постановление Правительства Республики Казахстан от 16 ноября 2021 года № 819. «Об утверждении Комплексного плана социально-экономического развития города Экибастуза Павлодарской области на 2021–2025 годы».
URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000819>.

Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 24 марта 2022 года № 104. «Об утверждении Энергетического баланса Республики Казахстан до 2035 года» (с изменениями от 30.01.2023 г.).
URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37351758&pos=4;-90#pos=4;-90.

Sputnik (2021). Главы ЕАЭС примут заявление о климатической повестке союза – Токаев.
URL: <https://ru.sputnik.kz/20211013/eaes-zayavlenie-klimat-tokaev-18399002.html>.

Sputnik (2023). В Казахстане назревает дефицит газа - Минэнерго. URL: <https://ru.sputnik.kz/20230622/v-kazakhstane-nazrevaet-defitsit-gaza--minenergo-36243718.html>.

Sputnik (2023). Не допустить блэкаутов на западе Казахстана: что планирует Кабмин кроме ремонта на МАЭК. URL: <https://ru.sputnik.kz/20230817/ne-dopustit-blekautov-na-zapade-kazakhstana-chto-planiruet-kabmin-krome-remonta-na-maek-37746323.html>.

Tengri News (2023). Авария на Экибастузской ТЭЦ: дело направили в суд.
URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/avariya-na-ekibastuzskoy-tets-delo-napravili-v-sud-502399/.

Tengri News (2023). АО «KEGOC» подводит первые итоги реформ на рынке энергоснабжения. URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/ao-kegoc-podvodit-pervyie-itogi-reform-ryinke-506577/.

Tengri News (2023). Жители Экибастуза снова замерзают в квартирах: на ТЭЦ прокомментировали ситуацию.
URL: https://tengrinews.kz/kazakhstan_news/jiteli-ekibastuza-snova-zamerzayut-kvartirah-tets-491567/.

Zakon (2022). Казахстан и к 2035 году не готов отказаться от угольных электростанций.
URL: <https://www.zakon.kz/politika/6024684-kazakhstan-i-k-2035-godu-ne-gotov-otkazatsia-ot-ugolnykh-elektrostantsii.html>.

Zakon (2023). В Казахстане с 1 июля появится Единый закупщик электроэнергии.
URL: <https://www.zakon.kz/sobytiia/6398580-v-kazakhstane-s-1-iyulya-poyavitsya-edinyy-zakupshchik-elektroenergii.html>.

Zakon (2023). Закрутили вентиль: почему Казахстан может отказаться от экспорта газа.
URL: <https://www.zakon.kz/stati/6388799-zakrutili-ventil-pochemu-kazakhstan-mozhet-otkazatsya-ot-eksporta-gaza.html>.

Список использованных источников на английском языке

Agora Energiewende (2019). *A word on grids.* How electricity grids can help integrate variable renewable energy. URL: <https://agora-energiewende.de/en/publications/a-word-on-grids/>.

Agora Energiewende (2019). *Unlocking low cost renewables in South East Europe.* URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2019/De-risking_SEE/161_Unlocking_SEE_EN_WEB.pdf.

Agora Energiewende (2023). *From coal to renewables: a power sector transition in Kazakhstan.* URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022_09_INT_Kazakhstan/A-EW_295_Kazakhstan_EN_WEB.pdf.

Amprion (2023). *The energy transition demands innovators.* URL: <https://www.amprion.net/documents/Amprion/Innovation/Amprion-Innovation-Report.pdf>.

BNEF (2022). *Global energy storage market to grow 15-fold by 2030.* URL: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-to-grow-15-fold-by-2030/>.

BOGA (2021). *Who we are.* URL: <https://beyondoilandgasalliance.org/who-we-are/>.

Carbon Tracker (2023). *Kazakhstan Energy Transition.* URL: <https://carbontracker.org/reports/kazakhstan-energy-transition/>.

CLEW (2016). *Volatile but predictable: Forecasting renewable power generation.* URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/volatile-predictable-forecasting-renewable-power-generation>.

CLEW (2018). *Renewables cover about 100% of German power use for first time ever.* URL: <https://www.cleanenergywire.org/news/renewables-cover-about-100-german-power-use-first-time-ever>.

Climate Ambition Summit (2020). *Kassym-Jomart Tokayev President of Kazakhstan.* URL: <https://www.climateambitions summit2020.org/ondemand.php>.

Ember (2023). *EU power sector 2030 target tracker.* URL: <https://ember-climate.org/data/data-tools/european-renewables-target-tracker/>.

Ember (2023). *Yearly electricity data.* URL: <https://ember-climate.org/data-catalogue/yearly-electricity-data/>.

Enerdata (2023). *Energy intensity.* URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>.

Entsoe (2023). *Generation forecasts for wind and solar.* URL: <https://transparency.entsoe.eu/>.

European Commission (2023). *Electricity market design.* URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/market-legislation/electricity-market-design_en.

Fothergill S. (2017). *Coal Transition in the United Kingdom // IDDRI and Climate Strategies.* URL: https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Rapport/201706-iddri-climatestrategies-coal_uk.pdf.

Guidehouse, Agora Energiewende (2023). *Electricity Market Design for Climate Neutrality: Fundamentals.* URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2023/Agora_Power_market_design_fundamentals_Guidehouse.pdf.

Gürsan C., de Gooyert V. (2021). *The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition? // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 138, 110552.* URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110552>.

Haywood L., Leroutier M., Pietzcker R. (2023). Why investing in new nuclear plants is bad for the climate // *Joule*. – Vol. 7, Issue 8, pp. 1675-1678. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.07.006>.

IAEA (2008). *Financing of New Nuclear Power Plants // Nuclear Energy Series*. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1345_web.pdf.

IEA (2020). *Kazakhstan*. URL: <https://www.iea.org/countries/kazakhstan>.

IEA (2022). *The Future of Heat Pumps*. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>.

IEA (2023). *Demand response*. URL: <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response>.

IEA (2023). *United Kingdom*. URL: <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>.

IISD (2021). *Gas Is Not a Bridge Fuel, It's a Wall. So Why Are Governments Still Financing It?* URL: <https://www.iisd.org/articles/gas-bridge-fuel>.

IRENA (2019). *Solutions to integrate high shares of variable renewable energy*. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_G20_grid_integration_2019.pdf.

IRENA (2020). *Advanced forecasting of variable renewable power generation*. Innovation landscape brief. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Advanced_weather_forecasting_2020.pdf?la=en&hash=8384431B56569C0D8786C9A4FD-D56864443D10AF.

IRENA (2021). *Reaching Zero with Renewables. Capturing Carbon*. URL: https://www.irena.org/-/media/IRENA/Files/Technical-papers/IRENA_Capturing_Carbon_2021.pdf?rev=bf05359177504164aab-7fad527b35e0d.

IRENA (2023). *Installed electricity capacity (MW) by Country/area, Technology, Grid connection and Year*. URL: https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT__Power%20Capacity%20and%20Generation/ELECCAP_2023_cycle2.px/.

Lazard (2023). *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis—Version 16.0*. URL: <https://www.lazard.com/media/typdggmm/lazards-lcoeplus-april-2023.pdf>.

LSE (2019). *What is a carbon price and why do we need one?* URL: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-a-carbon-price-and-why-do-we-need-one/>.

OPEC (2023). *Data download*. URL: https://asb.opec.org/data/ASB_Data.php.

Our World in Data (2023). *Energy*. URL: <https://ourworldindata.org/energy>.

PPCA (2023). *United Kingdom*. URL: <https://poweringpastcoal.org/members/united-kingdom/>.

REN21 (2023). *Renewables 2023 Global Status Report collection, Renewables in Energy Supply*. URL: https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/energy_supply/01_energy_supply.

Reuters (2015). *Britain's last deep coal mine Kellingley Colliery closes*. URL: <https://www.reuters.com/article/uk-britain-coal-idUKKBN0U11BU20151218>.

SMARD (2023). *Electricity generation and consumption in Germany*. URL: <https://www.smard.de/en>.

Sovacool B. K., Gilbert A., Nugent D. (2014). *An international comparative assessment of construction cost overruns for electricity infrastructure // Energy Research & Social Science*. – Vol. 3, pp. 152-160. URL: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.016>.

The Guardian (2015). *Wind power generates 140% of Denmark's electricity demand.*

URL: <https://www.theguardian.com/environment/2015/jul/10/denmark-wind-windfarm-power-exceed-electricity-demand>.

The Guardian (2021). *Cancel all planned coal projects globally to end 'deadly addiction', says UN chief.* URL: <https://www.theguardian.com/environment/2021/mar/02/cancel-all-planned-coal-projects-globally-to-end-deadly-addiction-says-un-chief>.

The World Bank (2000). *The Single-Buyer Model. A Dangerous Path toward Competitive Electricity Markets.* URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/779321468780281965/pdf/22403-Placement-file-225LOVEI.pdf>.

The World Bank (2017). *Stuck in Transition: Reform Experiences and Challenges Ahead in the Kazakhstan Power Sector.* URL: <https://www.worldbank.org/en/country/kazakhstan/publication/kazakhstan-power-sector-note>.

The World Bank (2023). *Coal rents (% of GDP).* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.COAL.RT.ZS?locations=XO>.

The World Bank (2023). *Natural gas rents (% of GDP).* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.NGAS.RT.ZS?locations=XO>.

The World Bank (2023). *Oil rents (% of GDP).* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PETR.RT.ZS?locations=XO>.

UK Government (2021). *End to coal power brought forward to October 2024.* URL: <https://www.gov.uk/government/news/end-to-coal-power-brought-forward-to-october-2024>.

UN Climate Change Conference UK 2021 (2021). *Global coal to clean power transition statement.*

URL: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230313120149/https://ukcop26.org/global-coal-to-clean-power-transition-statement/>.

UZ Daily (2021). *EBRD to support Uzbekistan in achieving carbon neutrality.* URL: <https://www.uzdaily.uz/en/post/65118>.

Wood Mackenzie (2022). *Renewable power in Asia Pacific gains competitiveness amidst cost inflation.* URL: <https://www.woodmac.com/press-releases/renewable-power-in-asia-pacific-gains-competitiveness-amidst-cost-inflation/>.

World Bank (2023). *Europe and Central Asia: Toward a Framework for the Sustainable Heating Transition.* URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099092023140527206/pdf/P1777440fed3230ce089060ff8ce59c9f5e.pdf>.

World Nuclear Association (2020). *Median construction times for reactors since 1981.* URL: <https://www.world-nuclear.org/gallery/world-nuclear-performance-report-gallery/median-construction-times-for-reactors-since-1981.aspx>.

World Nuclear Association (2023). *Small Nuclear Power Reactors.* URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>.

Публикации Agora Energiewende

На англйском языке

EU policies for climate neutrality in the decisive decade

20 Initiatives to advance solidarity, competitiveness and sovereignty

The roll-out of large-scale heat pumps in Germany

Strategies for the market ramp-up in district heating and industry

Transitioning away from coal in Indonesia, Vietnam and the Philippines

Overview of the coal sector with a focus on its economic relevance and policy framework

Hydrogen import options for Germany (Summary)

Analysis with an in-depth look at synthetic natural gas (SNG) with a nearly closed carbon cycle

Briefing on the Europe-China Workshop on Carbon Markets, with coverage of the EU CBAM and carbon asset management

Ensuring resilience in Europe's energy transition

The role of EU clean-tech manufacturing

Levelised cost of hydrogen

Making the application of the LCOH concept more consistent and more useful

Decarbonisation in State-Owned Power Companies

Briefing from the workshop on 28–29 September 2022

From coal to renewables

A power sector transition in Kazakhstan

12 Insights on Hydrogen – Argentina Edition

Breaking free from fossil gas

A new path to a climate-neutral Europe

How Europe can make its power market more resilient

Recommendations for a short-term reform

Argentina as a hub for green ammonia

A forward-looking development strategy for addressing the global energy and climate crises

Все публикации доступны на нашем: www.agora-energiewende.org

Публикации Agora Energiewende

На немецком языке

Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2023

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2024

Haushaltsnahe Flexibilitäten nutzen

Wie Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und Co. die Stromkosten für alle senken können

Solarstrom vom Dach

Eine interaktive Visualisierung des Photovoltaik-Potenzials auf Deutschlands Gebäuden

Der CO₂-Preis für Gebäude und Verkehr

Ein Konzept für den Übergang vom nationalen zum EU-Emissionshandel

Wasserstoff-Importoptionen für Deutschland

Analyse mit einer Vertiefung zu Synthetischem Erdgas (SNG) bei nahezu geschlossenem Kohlenstoffkreislauf

Windstrom nutzen statt abregeln

Ein Vorschlag zur zeitlichen und regionalen Differenzierung der Netzentgelte

Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland

Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie

Ein neuer Ordnungsrahmen für Erdgasverteilnetze

Analysen und Handlungsoptionen für eine bezahlbare und klimazielfunktionale Transformation

Rückenwind für Klimaneutralität

15 Maßnahmen für den beschleunigten Ausbau der Windenergie

Klimaneutrales Stromsystem 2035 (Zusammenfassung)

Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann

Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022

Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023

Volle Leistung aus der Energiekrise

Mit Zukunftsinvestitionen die fossile Inflation bekämpfen

Durchbruch für die Wärmepumpe

Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand

Все публикации доступны на нашем сайте: www.agora-energiewende.de

Выходные данные публикации

Об Agora Energiewende

Agora Energiewende разрабатывает основанные на фактических данных политически реализуемые стратегии для обеспечения успешного перехода к экологически чистой энергии в Германии, Европе и других странах мира. Организация действует независимо от экономических и партийных интересов. Ее единственная цель – это действия в области борьбы с изменением климата.

Agora Energiewende

Agora Energiewende
10178 Берлин | Анна-Луиза-Карш-Штрассе, 2
Германия
Тел.: +49 (0)30 700 14 35-000
www.agora-energiewende.org
info@agora-energiewende.de

www.agora-energiewende.org
info@agora-energiewende.de

Перевод: Марина Тонкопеева

Верстка: Урс Кархер

Изображение на обложке: Passakorn | Adobe Stock

321/01-S-2024/RU

Версия: 1.0, Март 2024



Публикация доступна для скачивания по данному QR-коду



Данная работа находится под лицензией CC BY-NC-SA 4.0.