

**Европейская экономическая комиссия****Комитет по устойчивой энергетике****Группа экспертов по системам экологически
чистого производства электроэнергии****Девятнадцатая сессия**

Женева, 3–4 октября 2023 года

Пункт 6 предварительной повестки дня

**Создание энергосистем с чистым нулевым
балансом выбросов****Переход к энергетическим системам с нулевым балансом
выбросов — общие принципы обеспечения надежности
электропитания****Записка секретариата***Резюме*

Достижение поставленной амбициозной экологической цели — достижение чистого нулевого уровня выбросов углекислого газа в мире к 2050 году — диктует необходимость фундаментальных изменений в структуре и функционировании различных секторов экономики и ускорит изменения в управлении ресурсами, цепочке поставок, конечном потреблении и технологиях преобразования энергии. Эти изменения потребуют нестандартных и решительных действий.

Электрификация является одним из средств снижения выбросов от многих видов деятельности при условии, что растущий сектор электроэнергетики одновременно перейдет на технологии с низким, нулевым и отрицательным уровнем выбросов углекислого газа, а затем, по мере необходимости, на дополнительное удаление углекислого газа.

Настоящий документ был разработан Группой экспертов по системам экологически чистого производства электроэнергии в поддержку деятельности Комитета по устойчивой энергетике. В нем рассматриваются риски, связанные с возможным незапланированным снижением надежности системы электропитания в процессе ее быстрого расширения и перехода на новые технологии, а также обсуждается вопрос сохранения достаточной контролируемой диспетчером генерирующей мощности в условиях перехода к системам электропитания с чистыми нулевыми выбросами для поддержания надежности и устойчивости энергосистемы.



I. Введение

1. Поставленная амбициозная экологическая цель — снижение риска и последствий изменения климата под воздействием парниковых газов (ПГ) — предполагает достижение чистого нулевого уровня выбросов углекислого газа в глобальном масштабе (т. е. сокращение выбросов до максимально возможного уровня, с последующим поглощением оставшихся выбросов из атмосферы) к 2050 году, до которого осталось чуть менее 10 000 дней. Достижение поставленной цели в установленные сроки потребует фундаментальных изменений в структуре и функционировании различных секторов экономики и ускорит изменения в управлении ресурсами, цепочке поставок, конечном потреблении и технологиях преобразования энергии. Эти изменения потребуют нестандартных и решительных действий.

2. Одним из главных путей к достижению в будущем чистого нулевого баланса является электрификация многих конечных потребителей энергии, которые в настоящее время напрямую используют ископаемое топливо, с последующим ростом производства электроэнергии, несмотря на повышение эффективности конечного потребления. В краткосрочной перспективе приоритетными направлениями электрификации являются электромобильность и развитие строительной индустрии — двух крупнейших конечных энергопотребителей. Однако, для того чтобы электрификация была эффективной в плане снижения выбросов, растущий сектор производства электроэнергии должен одновременно перейти на источники с низким, а затем и с нулевым уровнем выбросов ПГ, а затем, по мере необходимости, обеспечить удаление углекислого газа для достижения отрицательного баланса выбросов CO₂¹. Международное финансовое сообщество стремится дополнительно ускорить этот переход путем разработки политики в области экологического, социального и корпоративного управления (ЭСУ), регулирующей практику кредитования на региональном и национальном уровнях.

3. В связи с этим во многих странах региона Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК) проводится политика, направленная на содействие скорейшему внедрению технологий возобновляемой энергетики, в частности ветряных и солнечных установок, в максимально широких масштабах, а также на инвестиции в новые технологии накопления энергии (включая, в частности, водород и различные варианты хранения энергии) для поддержки этой политики. В некоторых государствах — членах ЕЭК также строятся новые атомные электростанции, а также электростанции на ископаемом топливе и биомассе с улавливанием и хранением углерода (УХУ).

4. После строительства и ввода в строй таких генерирующих мощностей на неископаемом сырье, как ветровые, солнечные или атомные станции, благодаря их нулевым или низким предельным эксплуатационным затратам они в силу фундаментальных экономических факторов естественным образом вытеснят ископаемую генерацию, как с технологией УХУ, так и без нее. Кроме того, даже при умеренном уровне цен на выбросы углерода² электростанции с УХУ будут иметь более низкие предельные эксплуатационные расходы, чем обычные электростанции на ископаемом топливе, не оборудованные системами улавливания углерода, и можно ожидать, что в случае необходимости выбор будет сделан в их пользу, а не электростанций, не оборудованных УХУ.

5. Однако рассматриваются и дополнительные ограничения «сверху» на использование ископаемого топлива (нефти, угля и природного газа) для производства электроэнергии, например принудительное закрытие станций. Эти меры, безусловно, приведут к дальнейшему ограничению использования ископаемого топлива, но они также снизят контролируемую диспетчером генерирующую мощность для удовлетворения спроса, когда других источников не будет. Как правило, для этого

¹ URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.

² Цены на углерод, которые сделают предельные затраты на генерацию на ископаемом топливе без УХУ более дорогими, гораздо ниже цены на углерод, необходимой для покрытия всех затрат на УХУ, включая капитальные вложения.

потребуется лишь ограниченные периоды эксплуатации, и по мере увеличения уровня генерации на основе ископаемого топлива и поддерживающей ее инфраструктуры накопления энергии эти периоды будут укорачиваться.

6. Живучесть энергетической системы — это способность выдерживать нестандартные воздействия и восстанавливаться после них. Комитет по устойчивой энергетике (Комитет) на своей тридцать первой сессии (21–23 сентября 2022 года) также отметил, что живучая энергетическая система — это система, в которой энергия вносит оптимальный вклад в социальное, экономическое и экологическое развитие страны при соблюдении баланса между устойчивостью, доступностью и безопасностью³. Однако если не будет сохранена достаточная электрическая мощность, чтобы выдержать любую нагрузку на систему энергосистемы, то возникает риск неспособности обеспечить безопасность энергоснабжения, а также доступность компонентов живучей энергосистемы. На данном этапе перехода в электроэнергетике решение кроется в сохранении мощностей, работающих на ископаемом топливе, до их постепенного замещения альтернативными источниками. Поэтому проблема здесь состоит в том, чтобы комбинация стратегий, проводимых государствами-членами для снижения выбросов парниковых газов в секторе производства электроэнергии и одновременного увеличения ее потребления, не привела к непреднамеренному и неприемлемому снижению надежности системы.

7. Приоритетной задачей является возможность удовлетворения спроса на электроэнергию в любой момент времени; до тех пор, пока не будут реально реализованы крупномасштабные и долговременные возможности хранения электро- и других видов энергии, электрическая сеть будет нуждаться в значительном количестве генерирующих мощностей, контролируемых диспетчером (т. е. мощностей, способных производить энергию при росте спроса с высокой степенью уверенности в ее наличии в любых обстоятельствах). Но помимо этого, что часто не находит полного понимания, для обеспечения стабильности функционирования электрической сети необходимо реализовать важнейшие функции по обеспечению надежности, позволяющие поддерживать частоту, напряжение и наращивать или снижать нагрузку в самых разных режимах работы. Наконец, по мере того как в энергосистеме появляется все больше непостоянных источников, таких как ветряная и солнечная генерация, способность контролируемой диспетчером генерирующей системы оперативно наращивать и снижать мощность становится критически важной для балансировки производства этих менее надежных низкоуглеродных ресурсов.

8. В настоящее время большую часть этих важнейших функций по обеспечению надежности энергосистемы выполняет генерация на ископаемом топливе. Такие электростанции при необходимости всегда находятся в состоянии готовности и обеспечивают инерционность (необходимую для сглаживания изменений частоты переменного тока в сети в результате сбоев в системе и минимизации последствий сетевых возмущений) и выработку реактивной мощности (необходимой для поддержания напряжения). В частности, электростанции, работающие на природном газе, могут очень быстро наращивать и снижать мощность, чтобы компенсировать нестабильность ветровой и солнечной генерации.

9. Следует особо отметить, что, хотя радикальное увеличение потребления электроэнергии в будущем является необходимым, будущие требования, которые этот рост предъявит к системам электроснабжения, определенно едва ли можно спрогнозировать в контексте современных сетей и уж тем более на основе всего предыдущего опыта эксплуатации электросетей, работавших в основном на ископаемом топливе, а также недавних примеров стабильного или снижающегося спроса на электроэнергию в ряде регионов. Таким образом, опыт, который скоро утратит свою актуальность, показывает, что ускоренное выбытие генерирующих мощностей на ископаемом топливе может быть возможным, произойти фактически и стать необратимым, при этом функции по обеспечению надежности, которые выполняют эти генерирующие мощности, необходимые для бесперебойной работы

³ URL: <https://unece.org/sed/documents/2022/09/post-session-documents/final-report-thirty-first-session-committee>.

всей электрической сети, не будут заменены альтернативами, которые могут быть использованы в будущем. Помимо прямых ограничений, выбытие оборудования в некоторых случаях обусловлено искаженными ценовыми сигналами, которые не отражают стоимость всех предоставляемых услуг, а также значительными капитальными затратами на выполнение предлагаемых экологических норм. Такая динамика выбытия генерирующих активов, работающих на ископаемом топливе, наблюдается в ряде государств — членов ЕЭК.

10. Вместе с тем Группа экспертов ЕЭК по системам экологически чистого производства электроэнергии (Группа экспертов) подчеркивает, что сохранение достаточной контролируемой диспетчером генерирующей мощности для выполнения этих необходимых функций до тех пор, пока не появятся альтернативные решения, очевидно, является критически важной задачей для поддержания надежности и живучести энергосистемы в будущем. Сохранение достаточной мощности не должно противоречить целям сокращения выбросов углерода. Потребление ископаемого топлива и связанные с ним выбросы CO₂ будут неизбежно снижаться по мере появления низкоуглеродных источников генерации с низкими или нулевыми предельными эксплуатационными затратами, о чем говорилось выше. Однако при необходимости сбалансировать систему и устранить дефицит производства возобновляемой энергии чрезвычайно важную роль будут играть резервные генерирующие мощности, зачастую работающие на ископаемом топливе. Сохранение соответствующего уровня контролируемой диспетчером генерирующей мощности (в том числе на ископаемом топливе, работающих с гораздо меньшей загрузкой), при переходе на топливо с более низким уровнем выбросов углерода, такое как природный газ, может дать ряд преимуществ в плане обеспечения живучести системы, которые в противном случае должны быть реализованы за счет применения других технологий для поддержания устойчивой работы всей энергетической системы. Это включает в себя наличие ресурсов для обеспечения возможности «черного запуска».

11. В этой связи Группа экспертов настоятельно призывает государства-члены рассмотреть последствия политики сокращения выбросов углерода для традиционных, не оборудованных УХУ, контролируемых диспетчером генерирующих мощностей, работающих на ископаемом топливе, и изыскать пути сохранения этих мощностей до тех пор, пока их функции по обеспечению энергоснабжения и надежности не будут по факту заменены за счет применения комбинации долговременных накопителей электроэнергии большой мощности для поставки дополнительной мощности при росте потребления, интеллектуальных инверторов для регулирования частоты и напряжения в сети и, если это соответствует национальной политике, электростанций на ископаемом топливе с УХУ, которые могут выполнять аналогичные задачи в сети. Аккумуляция электроэнергии может осуществляться с помощью естественных механических технологий хранения, таких как гидроаккумуляторы, накопителей энергии на сжатом или жидком воздухе или других физических систем хранения, а также химических накопителей (аккумуляторы), хотя эти не связанные с использованием ископаемого топлива технологии обеспечения устойчивости энергосистем находятся на стадии становления и в значительной степени не доступны в промышленных масштабах, а также могут иметь физические ограничения. Другие накопители, например тепловой энергии, также могут снизить пиковый спрос на электроэнергию. Системы производства ископаемого топлива могут быть оснащены технологией УХУ в источнике, в частности установки, которые используются эпизодически, могут быть оборудованы системами рекуперации из атмосферы выбросов CO₂ с помощью прямого улавливания углерода из воздуха и его хранения; эти технологии опять же находятся в стадии разработки и, в случае с УХУ для точечных источников, имеют ограничения по месту применения.

II. Вопросы и проблемы

Масштабы преобразований в области электрификации огромны

12. Полная электрификация экономики потребует значительного увеличения масштабов электросетей, что является сложной задачей, учитывая капиталоемкость

производства, передачи и распределения электроэнергии. Прогнозы роста нагрузки уже начинают указывать на ежегодное увеличение; так, в Северной Америке после длительного периода весьма умеренного роста, обусловленного программами повышения энергоэффективности, увеличение нагрузки достигает 7–10 %.

13. Для достижения целевых показателей портфеля ВИЭ, установленных различными регулирующими и директивными органами, в последнее десятилетие электроэнергетические компании активно интегрируют в электрическую сеть низкоуглеродные и безуглеродные генерирующие ресурсы. Эти политические решения, а также снижение стоимости инверторов и фотоэлектрических панелей значительно повысили привлекательность коммерческих инвестиций в переменные возобновляемые источники энергии (ПВИЭ), доля которых превысила 60 % в общем объеме инвестиций. Кроме того, потребители стимулируются к установке солнечных батарей на крышах домов, а также к участию в программах управления спросом, включающих как энергоэффективность, так и реагирование на спрос.

14. При такой ускоренной интеграции ПВИЭ с нулевой предельной стоимостью контролируемые диспетчером генерирующие мощности «вытесняются с рынка» и работают значительно реже. С учетом крупных инвестиций в модернизацию и техническое обслуживание систем с целью повышения их экологических показателей и не имея других источников дохода для компенсации функций по обеспечению надежности энергосистемы, многие владельцы активов предпочитают выводить из эксплуатации мощности на ископаемом топливе, и с их выводом вся нынешняя энергосистема снижает свою способность реактивного управления частотой и маневрирования мощностью. Компенсация этих возможностей критически важна для стабильной работы сети, особенно во время общесистемных воздействий и возмущений.

Рост потребности в обеспечении безопасности энергоснабжения

15. Бесперебойное электроснабжение создает определенность, позволяющую гражданам быть уверенными в том, что у них будет электроэнергия для удовлетворения своих энергетических потребностей, без необходимости использования частных резервных источников (например, дров, резервных генераторов, бытовых аккумуляторов и т. д.). Такое бесперебойное энергоснабжение критически важно для модернизации экономики и стимулирует опору на него для электрификации транспорта, отопления и т. д., причем по мере преобразования и расширения энергосистемы надежность поставок должна поддерживаться еще более активно, чтобы обеспечить удовлетворение энергопотребностей. Сама природа солнечной и ветровой энергетики определяет переменный характер генерации, который зависит от внешних условий. В тех случаях, когда внешние условия снижают мощность значительного количества этих ресурсов, необходимы альтернативные источники энергии.

16. Поставщики электроэнергии могут инвестировать в управление спросом (энергоэффективность и реагирование на спрос), однако здесь существуют ограничения по масштабам и продолжительности или устойчивости реагирования, когда происходят экстремальные погодные явления большой продолжительности, а энергия необходима для удовлетворения базовых потребностей общества. Поэтому в условиях курса на декарбонизацию путем электрификации всех видов энергопотребления обеспечение бесперебойности поставок приобретает все большую актуальность. При сокращении поставок электроэнергии важно, чтобы оно было запланировано; так как при плановых сокращениях граждане могут дополнительно подготовиться к этому, а при незапланированных перебоях в поставках они могут столкнуться с дефицитом энергии и понести ущерб. Например, за последние два десятилетия с ростом интернет-торговли, расширением телекоммуникаций на базе Интернета и цифровизацией многих аспектов жизни общества (интернет-вещей, развлечения и т. д.) терпимость к перебоям в поставках, пусть даже кратковременным, стремительно падает. С расширением конечного потребления электроэнергии эта терпимость, скорее всего, сойдет практически на ноль, и поэтому необходимо повышать характеристики надежности поставок.

17. Поскольку соседние соединенные сети часто работают в схожих погодноклиматических условиях, способность передающих мощностей обеспечивать высокий уровень энергетической безопасности ограничена; их основная роль — максимальная конкуренция и повседневное снижение цен на энергоносители. Поэтому утверждается, что в настоящее время основными технологиями, необходимыми для обеспечения энергетической безопасности, являются в основном электростанции на ископаемом топливе с УХУ (или электростанции с низким уровнем выбросов, например, на водородном топливе), крупные гидроэлектростанции и накопители энергии большого объема и длительного действия.

Контролируемые диспетчером генерирующие мощности необходимы, но они уже находятся под давлением

18. Пока экономически эффективные технологии хранения энергии не будут внедряться на массовой основе и не смогут обеспечить многодневную работу, электроэнергию по-прежнему придется производить в основном в момент ее потребления. Несмотря на то, что во многих областях ветровая и солнечная энергетика имеют взаимодополняющие профили производства, они не могут быть идеально обратно коррелированы, и для балансировки производства электроэнергии из ВИЭ требуется определенный объем высокоманевренной и управляемой диспетчером генерации.

19. Такая динамика создает значительную нагрузку на систему топливообеспечения в районах с очень высоким уровнем распространения фотоэлектрических систем; поскольку нагрузка на сеть в поздние вечерние и дневные часы возрастает, а выработка солнечной энергии с заходом солнца падает, контролируемая диспетчером генерация на природном газе должна быстро нарастать, чтобы восполнить дефицит. Такой скачок мощности в вечерние часы приводит к тому, что темпы отбора газа из местной газораспределительной системы превышают мощности газопроводов по его подаче, что увеличивает потребность в буферных хранилищах природного газа.

20. Хотя накопители малой емкости (например, способные выдавать мощность в течение четырех часов) способны существенно сгладить этот скачок, генерация на основе газа с УХУ и применение накопителей с возможностью более продолжительной работы являются ключевыми технологиями, позволяющими удовлетворить пиковые потребности без использования традиционных электростанций, работающих на ископаемом топливе. Значительное количество электроэнергии потребляют и другие отрасли критической инфраструктуры. Например, при переплавке стального лома используются электродуговые печи, требующие мгновенно значительных объемов электроэнергии в короткие промежутки времени два–три раза в час (10–15 минутными отрезками). В этом случае электроснабжение может быть обеспечено только за счет контролируемой диспетчером генерации. Отсутствие электропитания в нужный момент может привести к выходу оборудования из строя.

«Общие условия» могут повлиять на большие объемы возобновляемой генерации

21. Меры по обеспечению надежности электросетей основаны на теории независимых случайных отказов оборудования генерирующих и передающих мощностей — именно из этого вытекает понятие резервной мощности. Однако, как уже отмечалось, на ветровую и солнечную генерацию (и даже на гидроэнергетику) влияют «общие условия» в широком регионе, которые не распространяются на контролируемую диспетчером генерацию. Часто происходят такие погодные явления, как многодневная плотная облачность, туман или дымка, влияющие на эффективность солнечных станций, или «ветровая засуха», а водная засуха снижает выработку гидроэлектроэнергии в разных регионах, например на западе США в течение нескольких лет и во всей Европе в 2022 году.

22. Для обеспечения устойчивости к таким условиям без использования ископаемого топлива, как было указано выше, потребуются различные технологии генерации с нулевым уровнем выбросов углерода и накопители энергии с продолжительностью работы от нескольких дней до нескольких недель — такие

возможности в настоящее время с использованием существующих накопителей энергии, таких как аккумуляторные батареи, не обеспечиваются. Механические технологии хранения энергии, такие как гидроаккумуляторы, накопители энергии на сжатом или жидком воздухе, могут помочь удовлетворить требования по мощности, однако продолжительность их работы редко может быть достаточной для обеспечения полной нагрузки в течение нескольких дней.

Должны быть реализованы основные функции по обеспечению надежности

23. Для надежной и стабильной работы синхронной электросети требуется не только энергия. Электрическая сеть должна поддерживать напряжение и частоту в очень жестко заданных параметрах. Ряд ключевых функций по обеспечению надежности естественным образом обеспечивается традиционной синхронной генерацией вращающегося ротора с использованием паровых и газовых турбин, например реактивная мощность для поддержания напряжения, управления частотой и маневренной мощностью для компенсации переменного характера ПВИЭ.

24. С другой стороны, инверторные ресурсы (ИР) (солнечные панели, ветряки и аккумуляторные батареи) по своей сути не решают ни одной из этих задач, поскольку их взаимодействие с сетью зависит от силовой электроники. Можно привести примеры проблем с надежностью инверторных ресурсов, в большинстве случаев обусловленные трудностями, которые связаны с интеграцией и отсутствием качественных модельных расчетов. Поэтому поведение ИР не всегда до конца понятно, а системы управления требуют иной настройки, чем для синхронных машин. В 2017 году в Великобритании произошла масштабная потеря ветровой и солнечной генерации, а в США неоднократно имели место случаи падения надежности энергосистемы из-за поведения фотоэлектрических инверторов, последним из которых стала потеря 1700 МВт солнечной генерации, что привело к дополнительной потере 800 МВт генерации на природном газе в Западном Техасе и чуть было не вызвало необходимость веерных отключений для сброса оператором энергосети нагрузки при пониженной частоте.

Международные стандарты для ИР необходимы, но еще не полностью разработаны

25. С ростом числа ИР в электросетях повышается значение международных стандартов, регламентирующих их работу в сетях и моделирующих их поведение. В последнее время был принят ряд стандартов, разработанных Институтом инженеров по электротехнике и электронике (ИИЭЭ)^{4, 5}, однако для обеспечения максимально полного замещения традиционных генерирующих мощностей необходимы дополнительные усилия. Пока не будут разработаны такие стандарты и не будут определены эксплуатационные характеристики, ИР в функциональном отношении будут представлять собой «черный ящик» в электрической сети и будут создавать риск перерастания незначительных возмущений в крупные инциденты по потере надежности энергоснабжения.

Возможность сохранения средств обеспечения надежности традиционных энергосистем в период, пока не будут построены и введены в эксплуатацию альтернативные технологии

26. С увеличением количества ВИЭ возрастает неопределенность в отношении способности генерировать и поставлять электроэнергию, особенно при наступлении определенных долгосрочных и часто происходящих погодных явлений. Для обеспечения бесперебойной работы эти неопределенности невозможно с достаточной уверенностью устранить за счет применения резервных источников питания с типовой продолжительностью работы аккумуляторных батарей 4–8 часов. Для компенсации неопределенности, связанной с ПВИЭ, необходимо иметь в наличии контролируемые диспетчером генерирующие мощности или накопители, способные выдавать мощность в течение длительного времени и обеспечивающие высокий уровень определенности и непрерывности энергоснабжения. В настоящее время к таким

⁴ См.: IEEE SA — IEEE 2800-2022, <https://standards.ieee.org/ieee/2800/10453/>.

⁵ См.: IEEE SA — IEEE 1547-2018, <https://standards.ieee.org/ieee/1547/5915/>.

мощностям относятся АЭС, ГЭС, электростанции на биомассе и ископаемом топливе в сочетании с инерционными накопителями, при их наличии, — и такие генерирующие ресурсы необходимы для устранения этих факторов неопределенности и обеспечения непрерывности производства и поставок электроэнергии в обозримом будущем, хотя и не обязательно на неопределенный срок.

27. Вместе с тем сохранение имеющихся контролируемых диспетчером генерирующих мощностей или их замена на альтернативные в течение ближайших 20 лет сопряжена с трудностями ввиду того, что:

a) стремительное развитие возобновляемой генерации с ее нулевыми предельными затратами вытесняет синхронную контролируемую диспетчером генерацию с ее столь необходимым функционалом по поддержанию надежности из объема поставок работающих энергоблоков;

b) рынки электроэнергии и даже генерирующих мощностей не в состоянии должным образом учесть в цене весь спектр функций по обеспечению надежности, реализуемых различными видами генерации. В результате многие коммерческие энергокомпании не инвестируют в повышение надежности (например, в теплоизоляцию и повышение и обеспечение надежности топливных поставок);

c) создание компенсирующих мощностей и подключение к сети отдельных производителей энергии, например небольших солнечных электростанций, продающих энергию в общую сеть, например NordPool, сопряжено с определенными трудностями. Ограничения и ценовые пределы сдерживают потенциальный рост частных инвестиций в возобновляемую энергетику. Например, к 2030 году более 100 млн домохозяйств могли бы обеспечить энергоснабжение за счет кровельных солнечных батарей⁶;

d) другие политические меры, не связанные непосредственно с электроснабжением, например новые экологические требования к существующим станциям, для выполнения которых потребуются значительные капитальные вложения, также стимулируют инвесторов к выводу из эксплуатации и снятию с производства контролируемых диспетчером синхронных источников генерации, в частности работающих на угле, мазуте, природном и сжиженном газе, а также АЭС.

Для массового применения технологий УХУ их необходимо внедрять и развивать

28. Масштабное внедрение УХУ в энергетике, в том числе на агрегатах на природном газе и угле, необходимо для того, чтобы накапливать и изучать опыт в целях улучшения таких ключевых факторов, как коэффициент улавливания CO₂, эксплуатационная маневренность, неизбежное повышение нагрузки на электростанцию за счет энергопотребления улавливающего CO₂ оборудования, надежность оборудования и технологических процессов, а также стоимость транспортировки и хранения CO₂ и потенциальные факторы риска. Налицо необходимость в успешных образцовых проектах для широкого и экономически эффективного внедрения технологий УХУ и улавливания, использования и хранения углерода (УИХУ), что, в свою очередь, нужно для того, чтобы электростанции на ископаемом топливе (со всеми присущими им преимуществами с точки зрения обеспечения энергетической безопасности, работы сети и надежности системы) играли существенную роль в энергосистеме с чистыми нулевыми выбросами.

III. Рекомендации для государств-членов и ожидаемые результаты

29. На основе вышесказанного можно сформулировать следующие рекомендации для государств — членов ЕЭК по общим принципам обеспечения надежности энергоснабжения при переходе к системам с чистыми нулевыми выбросами:

⁶ URL: <https://www.iea.org/reports/approximately-100-million-households-rely-on-rooftop-solar-pv-by-2030>.

a) необходимо устранить излишние ограничения: переход к живучей расширенной электросети с чистыми нулевыми выбросами является чрезвычайно сложной задачей. Государствам-членам следует сосредоточиться на тех результатах, которые на деле могут дать значительный эффект: выбросах CO₂, надежности электроснабжения и затратах энергопотребителей, при этом нужно отметить наличие значительных различий в методах в странах ЕЭК, но принципы должны быть общими;

b) оценивать генерирующие активы следует не только по удельным затратам на МВт.ч, но и по их вкладу в способность балансировать спрос и предложение в режиме реального времени. Для оценки живучести в реальных ситуациях (например, при экстремальных погодных условиях, конфликтах), необходимо, чтобы частотная характеристика, реактивная мощность и маневренная мощность находились в пределах требуемого допуска. Следует также отметить, что системы оплаты, учитывающие только выработку энергии (МВт.ч), упускают из вида ключевые аспекты обеспечения надежности электростанций, необходимые для обеспечения устойчивой и надежной работы энергосистемы:

i) цены, учитывающие только затраты на производство энергии, не компенсируют затраты на все функции, которые реализуются (и требуются) для обеспечения работы энергосистемы;

ii) очевидна необходимость в новых источниках дохода, механизмах ценообразования и нормативных требованиях для обеспечения полного набора функций по поддержанию надежности, необходимых для работы электрической сети переменного тока;

c) необходимо выделить существующие стратегические активы, критически важные для стабильной и надежной работы энергосистемы, и не требовать их демонтажа до тех пор, пока их функции не будут адекватно заменены или не будет подтверждена дальнейшая нецелесообразность их использования, в том числе для будущего наращивания поставок электроэнергии в рамках широкой электрификации;

d) следует продолжать меры по ускоренному внедрению ВИЭ, энергоэффективных технологий, а также мер по управлению спросом, а также максимально использовать возобновляемые ресурсы и другие технологии с низким и нулевым уровнем выбросов углерода (включая ядерную энергетику, в соответствии с национальными приоритетами и целями развития) для снижения углеродного следа энергетики;

e) необходимо поддерживать разработку и внедрение технологий длительного хранения энергии (от нескольких дней до недель);

f) поскольку трудно представить себе надежную работу электросети без наличия определенного объема доступной по требованию «экстренной» генерации, которая, скорее всего, будет основана на ископаемом топливе, крайне важно активно развивать технологии прямого улавливания и хранения углерода из воздуха, а также улавливания (использования) и хранения углерода из точечных источников, поскольку технические средства улавливания CO₂ из атмосферы и его постоянное, безопасное хранение может быть самым дешевым и гибким способом достижения нулевого углеродного следа при рассредоточенном и эпизодическом использовании ископаемого топлива;

g) помимо «экстренного» использования ископаемого топлива непосредственно для производства электроэнергии, следует отметить, что в ближайшей и среднесрочной перспективе различные виды топлива (например, природный газ) по-прежнему могут играть важную роль в поставках больших объемов энергии в короткие промежутки времени для конечных потребителей, что в противном случае потребовало бы значительного наращивания лишь эпизодически используемых генерирующих и передающих мощностей — и соответственно увеличения степени резервирования⁷. Примером может служить дополнительное использование топлива

⁷ ECE/ENERGY/143 (<https://unece.org/sed/documents/2022/09/post-session-documents/final-report-thirty-first-session-committee>); в этом докладе резервирование определяется как наличие в

для обогрева помещений с целью увеличения производительности тепловых насосов при экстремальных температурах окружающей среды и низкой выработке ПВИЭ; в таких условиях локальное прямое сжигание топлива для производства тепла может быть более эффективным, а также снижать потребность в электроэнергии и ее передаче, даже с учетом необходимости использования прямого улавливания из воздуха и хранения углерода для рекуперации соответствующих выбросов CO₂ для достижения чистого нулевого уровня выбросов;

h) необходимо осуществлять подготовку к переходу к чистому нулевому уровню выбросов при инвестировании, и для этого определить активы, подходящие для будущей работы в сети с чистым нулевым уровнем выбросов (например, повышать маневренность новых генерирующих мощностей на ископаемом топливе, оборудованных УХУ или конструктивно готовых к установке систем УХУ). Кроме того, следует активизировать разработку накопителей энергии большой емкости с возможностью длительной выдачи мощности, что в конечном итоге позволит энергосистеме работать практически без резервирования за счет генерации на ископаемом топливе;

i) государства-члены должны также совместно с инженерным сообществом разработать единые международные стандарты надежной эксплуатации ИР, которые, несомненно, будут обеспечивать большую часть энергии в энергосистеме;

j) поскольку, по оценкам, на города приходится 75 % глобальных выбросов CO₂⁸, государствам-членам следует расширять сотрудничество с муниципальными властями и крупными городскими агломерациями, укрепляя координацию с их планами действий в области устойчивой энергетики для стимулирования инвестиций в переход к энергетике с нулевыми чистыми выбросами и обеспечения устойчивости энергосистем как для критически важной инфраструктуры, так и для конечных потребителей.

30. Это позволит обеспечить непрерывный прогресс в деле создания гораздо более крупной электрической сети, которая, помимо постепенного снижения выбросов CO₂ и, в конечном счете, перехода к чистому нулевому уровню выбросов, будет продолжать надежно работать и тем самым обеспечивать необходимую уверенность потребителей в надежности поставок и доступности электроэнергии для быстрого замещения ею прямого использования углеводородного топлива. Хотя значительная часть генерирующих мощностей, работающих на ископаемом топливе, будет сохранена в силу необходимости (до тех пор, пока не будет обеспечен прорыв в технологиях аккумулирования энергии), они будут работать с гораздо меньшей нагрузкой и только тогда, когда это необходимо, что обеспечит существенное сокращение выбросов в атмосферу от этого сектора. Это аналогично гибриднему автомобилю с подзарядкой от электросети, который работает преимущественно на электричестве, но при необходимости может работать и на бензине.

31. Группа экспертов также отмечает, что сохранение некоторых ключевых генерирующих активов на ископаемом топливе может помочь сообществам энергопоставщиков и обеспечить более справедливый переход за счет сохранения рабочих мест. Даже если эти активы будут вырабатывать гораздо меньше энергии (и, соответственно, выбросов углекислого газа), они все равно будут выполнять ценные функции по обеспечению надежности.

системе таких дублирующих возможностей, как компоненты, объекты или функции, которые повышают надежность системы для обеспечения бесперебойной работы. В энергетическом секторе резервирование может включать в себя локальные резервные генераторы или системы хранения электроэнергии, холостые мощности в сетях передачи и распределения электроэнергии или холостые генерирующие объекты.

⁸ URL: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>.