

Либрайх: Net Zero («Чистый ноль» - Состояние атмосферы Земли, когда поступление парниковых газов уравнивается их ликвидацией. - Прим.перев.) будет сложнее, чем вы думаете, и проще. Часть II: Проще

(Перевод статьи обозревателя агентства Блумберг Майкла Либрайха от 22 февраля 2024 г.)

Добро пожаловать во вторую часть моей статьи, состоящей из двух частей, посвященной бычьему и медвежьему сценариям перехода к «Чистому нулю».

В сентябре прошлого года я изложил ситуацию с медведями, выделив пять всадников переходного периода, которые сделают достижение чистого нулевого показателя трудным, а, вероятно, и невозможным. Напомним, что это были: **плохая экономика экологически чистых решений, помимо ветровой, солнечной энергии и батарей; неадекватность нашей нынешней электрической сети; растущий спрос на критически важные минералы; политическая и социальная инерция; и нормативный захват и хищническое затягивание. Пять грандиозных вызовов.**

Я закончил ту часть статьи, отметив, что «Пять всадников переходного периода» не обязательно тормозили события – каждого из них можно было бы преодолеть при правильном руководстве, целеустремленности, инновациях и ресурсах.

Теперь пришло время представить пример быков – пяти сил, даже более могущественных, чем те «Пять всадников», которые дают повод для оптимизма. По всей вероятности, недостаточно мощных, чтобы довести нас до нулевого уровня в 2050 году и удержать повышение температуры на уровне 1,5°C, но достаточно мощных, чтобы довести нас до нулевого уровня к 2070 году и поддерживать соответствующий Парижскому стандарту «значительно ниже 2°C».

Супергерой 1: Экспоненциальный рост

Двадцать лет назад, в 2004 году, потребовался целый год, чтобы установить один гигавайт солнечной фотоэлектрической системы. К 2010 году миру потребовался один месяц, чтобы установить гигавайт. К 2016 году одна неделя. В прошлом году были единичные дни, когда была установлена гигаваттная солнечная фотоэлектрическая установка.

За этот период совокупное количество солнечных фотоэлектрических установок удваивалось десять раз, и именно эти удвоения привели к снижению затрат. Солнечные фотоэлектрические системы обеспечивают скорость обучения около 25% за удвоение в течение последних пяти десятилетий, снижая стоимость модулей со 106 долларов за ватт мощности в 1975 году до 0,13 долларов за Вт в ноябре 2023 года (согласно индексу цен на солнечную энергию BloombergNEF), коэффициент 820.

За последние 20 лет ветроэнергетический сектор удвоился шесть раз – относительно стабильно, но только по сравнению с солнечной фотоэлектрической энергетикой. В 2004 году было установлено 8 гигавайт ветровой энергии; в 2023 году этот показатель составил около 110 ГВт, включая

12 ГВт морской ветроэнергетики. Затраты на ветроэнергетику также резко упали: с 0,12 доллара США/кВтч для лучших проектов двадцатилетней давности до примерно 0,02 доллара США/кВтч для береговой ветроэнергетики и 0,05 доллара/кВтч для морской ветроэнергетики.

В результате ветер и солнечная энергия вместе составляют самый быстрорастущий источник электроэнергии в истории. Двадцать лет назад на их долю приходилось менее одного процента мировой энергетики; 10 лет назад этот показатель достигал 3%. К концу прошлого года она выросла до 15%. Развитие атомной энергетики в 1980-е годы часто называют самым быстрорастущим источником чистой энергии. Но это совсем не близко: в лучший год выработка ядерной энергии увеличилась на 230 тераватт-часов, добавив 2,6 % к мощности мировой электроэнергетики. В прошлом году было установлено достаточно новых ветровых и солнечных мощностей, чтобы обеспечить ожидаемую мощность в 800 ГВтч каждый год, что позволило бы удовлетворить 2,8% мирового спроса на электроэнергию – а темпы добавления мощностей ветровой и солнечной энергетики продолжают ускоряться.

В 2004 году мощность крупнейшей действующей ветряной турбины составляла 2,5 мегаватта. Десять лет назад это было 8 МВт. Сегодня это 15 МВт. Ветряная платформа следующего поколения, разрабатываемая в Китае, будет обеспечивать мощность более 20 МВт на турбину. Ожидается, что производственные мощности солнечной энергетики, которые составляли около 1,5 ГВт в 2004 году и 48 ГВт в конце 2014 года, преодолечат отметку 1 ТВт к 2025 году. На встрече COP28 в Дубае мир согласился утроить установленные возобновляемые источники энергии к 2030 году. В своем последнем отчете о возобновляемых источниках энергии МЭА прогнозирует, что достижение показателя в два с половиной раза даже не потребует новых политических мер.

То же самое происходит и с аккумуляторными батареями: на самом деле их количество удваивалось даже быстрее, чем солнечных панелей: пять раз за последние восемь лет. В 2015 году было произведено около 36 ГВтч литий-ионных батарей; в прошлом году общая емкость составила около 1 ТВтч. За последнее десятилетие стоимость элементов снизилась с 1000 до 72 долларов за кВтч, при этом плотность энергии удвоилась, а деградация за цикл сократилась вдвое. Мы также видим новые химические элементы в аккумуляторах, такие как железо-воздушные и натрий-ионные, которые обещают быть даже дешевле, чем литий-ионные.

Теперь, прежде чем вы потянетесь за клавиатурой и возразите, что ни одна физическая технология не может демонстрировать экспоненциальный рост, она может следовать только логистической S-образной кривой с возможным насыщением, пожалуйста, остановитесь: я знаю. Свою первую S-кривую для замены целлюлозной упаковки на ориентированную полипропиленовую я рассчитал почти 40 лет назад. Оказалось, что полипропилен настолько дешевле и лучше целлюлозы, что продолжает создавать себе новые рынки и на несколько порядков опережает спрос на целлюлозу. Урок, который я усвоил, заключается в том, что до тех пор, пока вы не узнаете конечный размер рынка для новой технологии, не вешайте шляпу на то, что я называю теорией насыщения.

В 1993 году группа немецких коммунальных предприятий разместила рекламу на всю страницу в немецких газетах заявляя, что «возобновляемые источники энергии, такие как солнце, вода и ветер, не смогут покрыть более 4% нашей потребности в электроэнергии, даже в долгосрочной перспективе». В 2023 году возобновляемые источники энергии обеспечили более 50% электроэнергии Германии. В 2017 году группа норвежских ученых написала статью под названием «Пределы роста в секторе возобновляемых источников энергии», предсказывая, что глобальная ветровая и солнечная мощность достигнет насыщения в 2030 году на уровне 1,7 ТВт. К 2023 году, середине их прогноза, этот показатель уже превысил 2,1 ТВт, а темп установки достиг 0,5 ТВт в год.

Теория насыщения систематически встроена в модели официальных специалистов по энергетическим прогнозам, таких как МЭА, EIA США и IPCC, поэтому их прогнозы неоднократно оказывались бесполезными. В глубине мелкого шрифта вы обнаружите либо явные ограничения на объемы или рост любого ресурса, либо минимальные цены, ниже которых не допускается падение кривых затрат. Разработчики этих моделей придумывают всевозможные оправдания этих ручных ограничений, но настоящая причина проста: если бы они их не включили, солнечная, ветровая и аккумуляторная батареи доминировали бы во всех сценариях – в такой степени, по мнению разработчиков моделей, неправдоподобно, ограничивает карьеру или и то, и другое.

Реальный мир, однако, не заботится о таких проблемах: отрасли могут и проходят через сингулярности, чтобы стать повсеместными. Нет пределов кривым обучения: удвоение может замедлиться по мере развития отраслей, но снижение затрат никогда не достигает конечной точки. В земной коре также нет фундаментального недостатка критических минералов, необходимых для перехода. В совокупности это означает, что не существует принципиальных ограничений для проникновения чистых энергетических технологий в мировую энергетическую систему.

Я последний, кто утверждает, что мы направляемся в мир, на 100% состоящий из ветра, воды и солнечной энергии. Ядерная и геотермальная энергетика, решения на основе биотехнологий, технологии CCS и удаление углерода – все это будет играть свою роль. Я просто говорю, что рост ветровой и солнечной энергии, вероятно, будет экспоненциальным в течение длительного времени.

Супергерой 2: Системные решения

Многим людям трудно принять идею энергосистемы с дешевыми и обильными ветровыми, солнечными батареями и батареями в ее основе, ссылаясь на неспособность батарей покрывать периоды в течение дня или около того, когда мощность ветра и солнечной энергии резко падает.

Однако ответом на изменчивость являются не батарейки. Это системное решение – сочетание реагирования на спрос, межсетевых соединений, избыточных генерирующих мощностей, гидроаккумулирующих мощностей, атомной энергетике, CCS, длительного хранения водорода и биогаза, интегрированных посредством обширной сети и управляемых с использованием новейших цифровых технологий. Хорошей новостью является то, что каждая из этих

составляющих технологий демонстрирует значительный рост и инвестиции, и они постепенно соединяются воедино последовательными итерациями регулирования, превращая системные решения во Второго Супергероя Переходного периода.

По данным BloombergNEF, необходимость создания огромного количества новых сетевых мощностей – на сумму 21,4 триллиона долларов для достижения чистого нуля – конечно же, была моим вторым всадником переходного периода. Однако есть пять причин полагать, что его можно победить.

Во-первых, не существует физических ограничений на объем передачи, который можно построить. За последние 50 лет глобальная мощность передачи электроэнергии выросла в пять раз; мы, безусловно, можем расширить сеть еще в пять раз в ближайшие десятилетия, даже если мы не достигнем краткосрочных целей на 2030 год.

Во-вторых, технологии. Цифровизация уже позволяет нам получать больше с меньшими затратами с точки зрения мощности, технология HVDC быстро масштабируется, и в какой-то момент сверхпроводники сделают с обычными силовыми кабелями то же, что оптоволокно сделало с обычными телефонными кабелями.

В-третьих, ценовые сигналы. Например, в Великобритании действует единая оптовая цена на электроэнергию, охватывающая всю страну. Когда на севере ветрено, форвардная цена резко падает, такие компании, как Octopus, советуют своим пользователям включать свою технику, и спрос резко возрастает. Однако из-за недостаточной мощности передачи электроэнергии с севера на юг за один час до конца National Grid должна оплатить газовые и дизельные генераторы на юге, чтобы восполнить дефицит. Безумие.

Одно из решений заключается в неустанном продвижении новых линий электропередачи. Альтернативой, однако, является переход на локальное ценообразование и налаживание передачи электроэнергии только там, где это экономически оправдано. Производители электроэнергии ненавидят эту идею – им нравится, когда им платят большие деньги за электроэнергию, где бы она ни производилась, независимо от того, используется она или сокращается. Но анализ ясен: чем более локализовано ваше ценообразование, тем меньше передач вам нужно построить и тем ниже затраты на достижение чистого нуля.

Четвертая причина, по которой проблема построения энергосистемы меньше, чем вы думаете, — это изменение местоположения спроса на электроэнергию — нравится вам это или нет, деиндустриализация переместит спрос туда, где возобновляемая энергия в изобилии, уменьшая потребность в проводах.

Пятая и последняя причина — электрификация наземного транспорта и отопление помещений. Уже спустя чуть более десяти лет с момента запуска Tesla S почти каждый пятый новый автомобиль является электрическим; все крупные производители автомобилей поставили электрификацию в основу своего будущего. Много говорилось о предполагаемом замедлении спроса на электромобили в прошлом году, но я этого не вижу: мировые продажи выросли с 10,5 до 14 миллионов, рост составил 33%, а продажи в США фактически выросли на 48%.

Тепловые насосы тоже исчезают с прилавков. Продажи в Европе выросли в 2,5 раза с 2017 по 2022 год; в США за последние два года было продано больше тепловых насосов, чем газовых печей. Отстает только Великобритания: в 2023 году их установит всего 55 000 против 600 000 во Франции. Используя промышленный тепловой насос, завод может использовать небольшое количество энергии, чтобы довести собственное отходящее тепло до температуры, необходимой для его процессов. Круговорот промышленного тепла – насколько это круто?

Электромобили и тепловые насосы являются естественными дополнительными технологиями ветровой и солнечной энергии, поскольку их использование может быть сдвинуто по времени на несколько часов или дней, чтобы компенсировать несоответствие спроса и предложения. Столкнувшись с сокращением энергосистемы, вместо того, чтобы строить дорогостоящие и непопулярные линии электропередачи или запускать водородный электролизер на несколько часов в неделю и смешивать непомерно дорогие результаты с газовой сетью за небольшую выгоду, позвольте ценам на электроэнергию упасть на местном уровне и наблюдайте, как люди спешат покупать электромобили и тепловые насосы.

За последние 20 лет мы снова и снова убеждались в том, что ценовые сигналы имеют значение. Сделайте все правильно, и все пойдет гораздо быстрее, чем вы ожидаете.

Супергерой 3: Соревнование великих держав

В 2018 году я написал статью под названием «За пределами трех третей: путь к глубокой декарбонизации». В нем я объяснил, что тенденций в области возобновляемых источников энергии, электромобилей и энергоэффективности будет достаточно, чтобы увидеть стабилизацию выбросов. Но для того, чтобы свести их к нулю, потребуются решения для теплоэнергетики, промышленности, химической промышленности, авиации, судоходства, стали, цемента и сельского хозяйства, которые вскоре стали называть секторами, в которых трудно снизить темпы сокращения выбросов.

Примечательно то, что, перечитывая эту статью, я с оптимизмом смотрел на новые технологии, но не мог сказать, какие из них победят. Если вы хотите улыбнуться, прочитайте раздел о водороде, который явно предшествует детальной работе, посвященной водородной лестнице.

Сегодня все может быть иначе. Теперь даже в самых сложных секторах мы видим путь к декарбонизации. Во многих случаях мы наблюдаем нечто большее, чем просто пилотные проекты: в сталь, удобрения, переработку нефти и газа, судоходство и даже в цемент инвестируются миллиарды долларов, при некоторой помощи со стороны поддерживающих правительств и программ, таких как программа по инфляции в США. Закон о сокращении.

Конечно, по-прежнему существуют существенные неопределенности. В судоходстве борьба ведется между аммиаком (токсичным и опасным) и метанолом (легким в обращении, но требующим молекулы углерода). В стали используется водород, хотя прямое электрическое восстановление, биоуголь или улавливание углерода могут в конечном итоге оказаться дешевле. Зеленый и

синий водород борются за сектор удобрений, хотя биологические и другие новые подходы могут в конечном итоге съесть свой обед. В авиации у электронного топлива есть свои поклонники, но оно выглядит непомерно дорогим по сравнению с SAF на биологической основе или SAF, изготовленным из биоуглерода и зеленого водорода, так называемым преобразованием энергии и биожидкости (PBTL). И любой из этих подходов может оказаться ошибочным, если удаление углекислого газа (CDR) может обеспечить достаточно дешевые и постоянные компенсации.

В целом, так называемых трудно поддающихся сокращению секторов больше нет. Есть лишь некоторые отрасли, в которых чистые решения, по прогнозам, не подорвут альтернативы, основанные на ископаемом топливе, а возможно, и никогда. Они потребуют цену на выбросы углерода, но это доступная цена на выбросы углерода: цену, которую мы достаточно богаты, чтобы заплатить, если мы так решим. Даже для самых сложных секторов мы сейчас видим более одного конкурирующего пути, жизнеспособного при ценах на выбросы углерода в диапазоне от 75 до 250 долларов США за тонну эквивалента CO₂, что сильно отличается от 2018 года, когда казалось, что им могут потребоваться цены на выбросы углерода. \$500 или даже \$1000/tCO₂.

Объедините эту перспективу декарбонизации с новой эрой международного соперничества между США, Китаем, Европой и развивающимися промышленными центрами, такими как Индия, Бразилия, Мексика и Турция, и будут созданы условия для гонки за владение сетью. нулевые отрасли будущего – превращая конкуренцию между великими державами и самоподпитку секторов, которые уже не так трудно ослабить, в Третьего супергероя.

Супергерой 4: Исчезающий спрос

Четвертым супергероем переходного периода является тот факт, что для достижения чистого нуля потребуется гораздо меньше полезных ископаемых, чем мы думаем, и они будут дешевле, чем мы опасаемся.

Пятикратное увеличение спроса на критически важные минералы со стороны энергетического сектора стало, как вы помните, моим третьим Всадником Апокалипсиса. Однако оценки критического спроса на полезные ископаемые, возникающие в результате экологически чистых энергетических технологий, были существенно завышены. Даже хорошо составленные основные прогнозы упускают из виду влияние на спрос технологических усовершенствований, замены материалов и, что особенно важно, переработки.

Общепризнанной истиной является то, что только 5% литий-ионных аккумуляторов перерабатываются, а остальная часть отправляется на свалку. Однако это утверждение неверно. Это было связано с отчетом, написанным в 2011 году организацией «Друзья Земли», в котором объемы сбора разделены на объемы производства на тот момент. До появления аккумуляторов для электромобилей с истекающим сроком службы уровень сбора литий-ионных аккумуляторов, конечно, был минимальным. Однако, как отмечает эксперт по переработке отходов Ханс Эрик Мелин, аккумуляторы для электромобилей содержат ценные материалы (цены на отходы аккумуляторов в настоящее время составляют от 1000 до 5000 долларов за тонну). По оценкам Melin, к 2019 году

59% подходящих аккумуляторов с истекшим сроком службы подлежали вторичной переработке; он считает, что в настоящее время этот показатель составляет 90%, а со временем достигнет 99%. Мы просто не собираемся отправлять аккумуляторы для электромобилей на свалку, как и свинцово-кислотные аккумуляторы.

Помимо скорости сбора, важна скорость восстановления, доля материалов, восстановленных для использования, и, в частности, доля критически важных минералов. И здесь новости очень хорошие: отчеты действующих компаний по производству материалов и стартапов-претендентов, таких как Redwood Materials, показывают, что уровень восстановления достигает 95%. Это очень важно. Предположим, срок службы вашей батареи составляет 15 лет, а общий уровень сбора и восстановления превышает 90%. Тогда, пока плотность энергии батареи будет увеличиваться на 10% каждые 15 лет (а помните, что за последнее десятилетие она удвоилась), ваши первоначальные минералы в батарее будут продолжать обеспечивать одни и те же услуги по хранению навечно. Именно так выглядит цикличность, и она не принимается во внимание ни в одной из крупных моделей спроса на энергию и полезные ископаемые – фактически, большинство текущих оценок выбросов углерода за весь срок службы электромобилей вообще не включают переработку.

В то же время переход естественным образом приведет к падению спроса на ресурсы со стороны отрасли ископаемого топлива, как объяснил независимый энергетический аналитик Майкл Барнард. 15% мирового потребления энергии приходится на добычу и переработку нефти и газа? Ушел. Около 40% морских перевозок, которые в настоящее время перевозят нефть, газ и уголь по всему миру? Продан на утилизацию. И 15% судоходства используется для перевозки железной руды? В значительной степени сокращены из-за местного производства экологически чистой стали. Потребность в водороде от гидрокрекинга для производства бензина и дизельного топлива? Ушел. Нефте- и газопроводы? Переработано. Даже спрос на цемент и сталь в конечном итоге должен начать сокращаться: мы прошли пик детской и городской миграции; в какой-то момент мы пройдем пик численности населения.

Наконец, старая поговорка «лекарство от высоких цен – это высокие цены» будет применяться к переходным минералам в такой же степени, как и к другим сырьевым товарам, как мы уже видим на примере цен на критически важные минералы, которые снизились на 80% по сравнению с их максимумами. два года назад, несмотря на растущий спрос.

Супергерой 5: Заблуждение о первичной энергии

Пятый и последний «Супергерой» — это абсолютная изюминка: вся проблема декарбонизации намного меньше, чем представляют ее критики. Причина кроется в природе спроса на первичную энергию — показателя, который доминирует в общественных дебатах по поводу перехода.

История первичной энергетики восходит к 1970-м годам, когда западные страны опасались, что им будет не хватать сырой энергии, необходимой их экономике, и начали искать по всему миру энергетические ресурсы, чтобы убедиться, что они контролируют достаточно большую долю. Для этого было создано

Международное энергетическое агентство, а его ключевым показателем был спрос на первичную энергию. Вы все еще найдете это название в энергетических отчетах МЭА сегодня.

Однако, несмотря на свое название, спрос на первичную энергию на самом деле не является показателем спроса. Давайте воспользуемся примером. Предположим, вы освещаете свой коридор лампой накаливания мощностью 75 Вт, которая светится 2000 часов и потребляет 150 кВтч в год. Запитайте её электричеством от угольной электростанции с КПД 35%, добавьте 10% потерь в сети, и вы создадите первичную потребность в энергии в 476 кВтч.

Однако вы можете обеспечить такое же количество света с помощью одной светодиодной лампы мощностью 10 Вт. Допустим те же 10% потерь в сети, и она потребляет всего 22 кВтч. Запустите этот светодиод на энергии ветра, солнца или гидроэнергии, и вы снизите потребность в первичной энергии на 95 % и устранили выбросы CO₂ – без сокращения использования освещения.

Возьмем второй пример: переход с автомобиля внутреннего сгорания на электромобиль. Предположим, ваш VW Golf проезжает 40 миль на галлон, что вполне нормально для реального использования. Это соответствует 1 кВтч/миля или, после учета потерь при добыче, переработке и распределении топлива, 1,2 кВтч/миля. Эквивалентный электрический VW ID3 с поправкой на потери в сети и зарядке потребляет всего 0,3 кВтч/милю. Переключившись, вы добились снижения спроса на первичную энергию на 75 % и открыли путь к 100 % устранению выбросов при вождении – без снижения мобильности.

Третий пример. Для отопления среднего дома в США требуется 57 миллионов британских тепловых единиц в год. Если вы обогреваете газом или мазутом, после поправки на 15% потерь на входе и 90% эффективности печи это составит 21 МВтч в год. Перейдите на тепловой насос с круглогодичным коэффициентом полезного действия 4, учтите 10% потерь в сети, и ваше потребление энергии снизится до 4,6 МВтч. Питание теплового насоса экологически чистым электричеством может снизить потребность в первичной энергии на 78 % и исключить выбросы CO₂ (и утечки метана) при отоплении помещений – без снижения комфорта.

Видите образец? Переход не заключается в замене всего спроса на первичную энергию чем-то более чистым, он просто должен предоставлять энергетические услуги в гораздо меньшем количестве экологически чистым способом.

Каждый год Ливерморская национальная лаборатория Лоуренса создает прекрасную диаграмму Сэнки, показывающую, как первичная энергия США протекает через энергетическую систему. Целых две трети в конечном итоге превращается в «отбракованную энергию», большая часть которой уходит в отходы от электростанций и транспорта, работающих на ископаемом топливе, другими словами, от сжигания материалов: тот же процесс, который приводит к выбросам CO₂. Только одна треть оказывается «энергетическими услугами», которые фактически используются американскими потребителями и предприятиями.

Стоит вспомнить об этом в следующий раз, когда Бьорн Ломборг, Вацлав Смиль или Алекс Эпштейн будут указывать на то, что возобновляемая энергия

удовлетворяет лишь 5% наших потребностей в энергии, основываясь на данных МЭА о спросе на первичную энергию. Но именно энергетические услуги, а не спрос на первичную энергию, способствуют человеческому прогрессу: мы хотим, чтобы у всех в мире был свет, мобильность, отопление и так далее – и это не значит, что всем нужно иметь лампы накаливания, работающие на угле. электростанции, бензиновые или дизельные автомобили или газовое отопление. Каждый раз, когда кто-либо, намеренно или нет, использует данные МЭА о спросе на первичную энергию в качестве показателя, он преувеличивает важность ископаемого топлива.

Честно говоря, Управление энергетической информации США, Статистический обзор мировой энергетики BP (теперь курируемый Энергетическим институтом) и некоторые другие применяют поправку к выработке ветровой, солнечной и гидроэнергии в сторону увеличения, чтобы поставить их в такое же положение, как и тепловые ресурсы, так называемый метод замещения. Это лучше, чем ничего, но все же недостаточно: использование одного «фактора скрипки» скрывает, например, вытесняют ли возобновляемые источники энергии эффективные или неэффективные альтернативные источники энергии; Хуже того, в сознании людей сохраняется приоритет увеличения поставок энергии над эффективным удовлетворением спроса.

У японцев есть слово — Моттайнай — для обозначения почтения, которое следует оказывать эффективности, и печали, вызванной расточительством. Это должно быть нашим руководством при построении энергетической системы будущего – системы, которая извлекает каждую единицу энергии (и эксергию, с которой мы познакомились в моей прошлогодней статье об электрификации тепла) из ресурсов, которые мы используем.

Нам следует определить энергетические услуги, необходимые для обеспечения энергией мировой экономики, и выяснить, как обеспечить их самым дешевым, чистым и надежным способом. Увеличится или уменьшится спрос на первичную энергию, независимо от того, как он определяется, просто не имеет никакого значения.

И, наконец,

Итак, вот они, пять супергероев переходного периода – пять мегатенденций, которые помогут вывести мир к нулю: экспоненциальный рост, системные решения, конкуренция великих держав, исчезновение спроса и ошибка первичной энергии. В то время как Пять Всадников представляют собой запутанные проблемы настоящего здесь и сейчас, Пять Супергероев представляют собой мощные долгосрочные тенденции, что дает им преимущество.

На самом деле существует шестой Супергерой, или, скорее, сверхсила, которая скрыта внутри каждого из нас. Я считаю, что общество достигло переломного момента, после которого уже невозможно не бороться с изменением климата, загрязнением окружающей среды и деградацией окружающей среды.

Точно так же, как наступил момент, когда сброс неочищенных сточных вод на улицу или курение в общественных зданиях стало неприемлемым, так и сжигание ископаемого топлива становится неприемлемым. Поколение, которое считало это нормальным, незаменимым, даже своего рода правом по рождению, теряет свое

место во главе стола и заменяется поколением, которое не сомневается в необходимости «перестать сжигать всё, что под рукой».

Возможно, это не облегчает решение технических проблем, но создает благотворный круг между неизбежностью перехода, привлечением талантов, изменением баланса рисков в пользу решений по снижению эмиссии парниковых газов до нуля и прогрессом в направлении чистого нуля.

Остается только один вопрос – особенно в свете крайне тревожных температурных аномалий прошлого года – доберемся ли мы туда вовремя?

ПРИМЕЧАНИЕ ПЕРЕВОДЧИКА:

Из сообщения агентства Рейтер об энергетике КНР от 25.04:

«Рекордные объемы солнечной генерации были установлены в 2023 году, и массовое внедрение продолжалось в первые три месяца 2024 года. **Мощность солнечной генерации увеличилась вдвое с 2021 года и в четыре раза с 2018 года.»**