

ИННОВАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ: МИРОВОЙ ОПЫТ

Часть 19



Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Инновации в энергетике: мировой опыт

Часть 19

Ташкент 2026

Подготовлено и издано при финансовой поддержке проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии», реализуемого ОЭСР, НИЦ МКВК и ЕЭК ООН за счет средств Федерального министерства окружающей среды, борьбы с изменением климата, охраны природы и ядерной безопасности (BMUKN) в рамках Международной климатической инициативы (IKI)

Содержание

Рейтинг крупнейших источников электроэнергии в мире	5
Рейтинг крупнейших стран – потребителей электроэнергии в мире	7
Полный отказ от нефти, газа и угля потребует энергетической революции.....	10
Возобновляемая энергетика.....	11
ВИЭ способны обеспечивать непрерывное электроснабжение дешевле, чем традиционная генерация.....	11
<i>Ветроэнергетика</i>	14
Турбины в море перераспределяют миллионы тонн ила и влияют на хранение углерода.....	14
<i>Солнечная энергетика</i>	15
Солнце станет главным источником электроэнергии в мире к 2032 году.....	15
Установленная мощность солнечной энергетики в мире составила около 3 ТВт по итогам 2025	17
Солнечный кремниевый элемент Longi достиг рекордной эффективности 28,13%	19
Солнечная энергетика страдает от угольных ТЭС, установили учёные.....	20
Солнечные станции уходят в море: плавучие панели оказались эффективнее наземных	21
Китайские ученые приблизили перовскитные солнечные панели к промышленному применению.....	22
Солнечные панели под поездами: как Швейцария превращает железные дороги в источник чистой энергии	23
Традиционная энергетика	27
Исчезновение ледников изменит работу горных ГЭС	27
Финтех не спасет ГЭС: гидроэнергетике нужны традиционные банки.....	28

Могут ли гидроаккумулирующие электростанции удовлетворить растущий спрос ИИ на электроэнергию?	30
Системы хранения энергии.....	38
Новая водяная батарея способна работать сотни лет.....	38
Новая твердотельная батарея достигла рекордной плотности энергии 451 Вт ч/кг	39
Молекулярная солнечная батарея накапливает солнечную энергию и хранит её годами.....	40
Кальций помог физикам в 10 000 раз увеличить ионную проводимость хлора для мощных батарей из обычной морской воды.....	41
Южнокорейские ученые продлили срок службы водных аккумуляторов с помощью нанодобавки.....	42
Лёд и гравитация. Технологии длительного хранения энергии.....	44
Инновационные решения в энергетике.....	57
В Китае создали первую в мире топливную ячейку на угле – она даёт электричество без дыма, пара и генераторов.....	57
Ученые нашли быстрый и экологичный способ переработки литий-ионных батарей.....	58
Учёные нашли перспективные материалы для электроники и батарей, просто прерывая известные процессы.....	59
100 МВт ч без воды и лития: гравитационный аккумулятор появится в Африке	60
Китай заявил о прорыве в беспроводной передаче энергии из космоса	61
Этанол впервые протестируют как топливо для крупной электростанции.....	62
Найден способ использования энергии подземных вод для генерации электричества.....	64
Финский стартап собирается выпускать суперконденсатор из древесных отходов	65

Рейтинг крупнейших источников электроэнергии в мире¹

Несмотря на рекордные темпы внедрения возобновляемой энергетики, в 2025 году основная часть мировой электроэнергии все еще производилась за счет ископаемого топлива.

Новая инфографика показывает структуру мирового энергобаланса по источникам генерации и наглядно демонстрирует, что один только уголь по-прежнему обеспечивает около трети всей электроэнергии на планете. Природный газ остается вторым по значимости источником, подчеркивая, насколько глубоко ископаемое топливо все еще встроено в глобальную энергетическую систему.

В то же время солнечная и ветровая энергетика продолжают стремительно расти и уже сопоставимы с атомной энергетикой по объему выработки электричества. Данные для визуализации предоставлены аналитической организацией Ember за 2025 год.

Уголь остается крупнейшим источником электроэнергии в мире, обеспечивая почти 33% глобальной генерации.

Основной спрос формируется в быстро индустриализирующихся странах, где уголь остается относительно дешевым и доступным ресурсом. Особенно сильно от него зависят государства Азии – прежде всего Китай и Индия, которым требуется все больше энергии для поддержания экономического роста.

Природный газ занимает второе место, обеспечивая почти 22% мировой генерации электроэнергии. Газовые электростанции часто рассматриваются как гибкий резерв для возобновляемых источников, поскольку они способны быстро увеличивать или снижать выработку в зависимости от нагрузки.

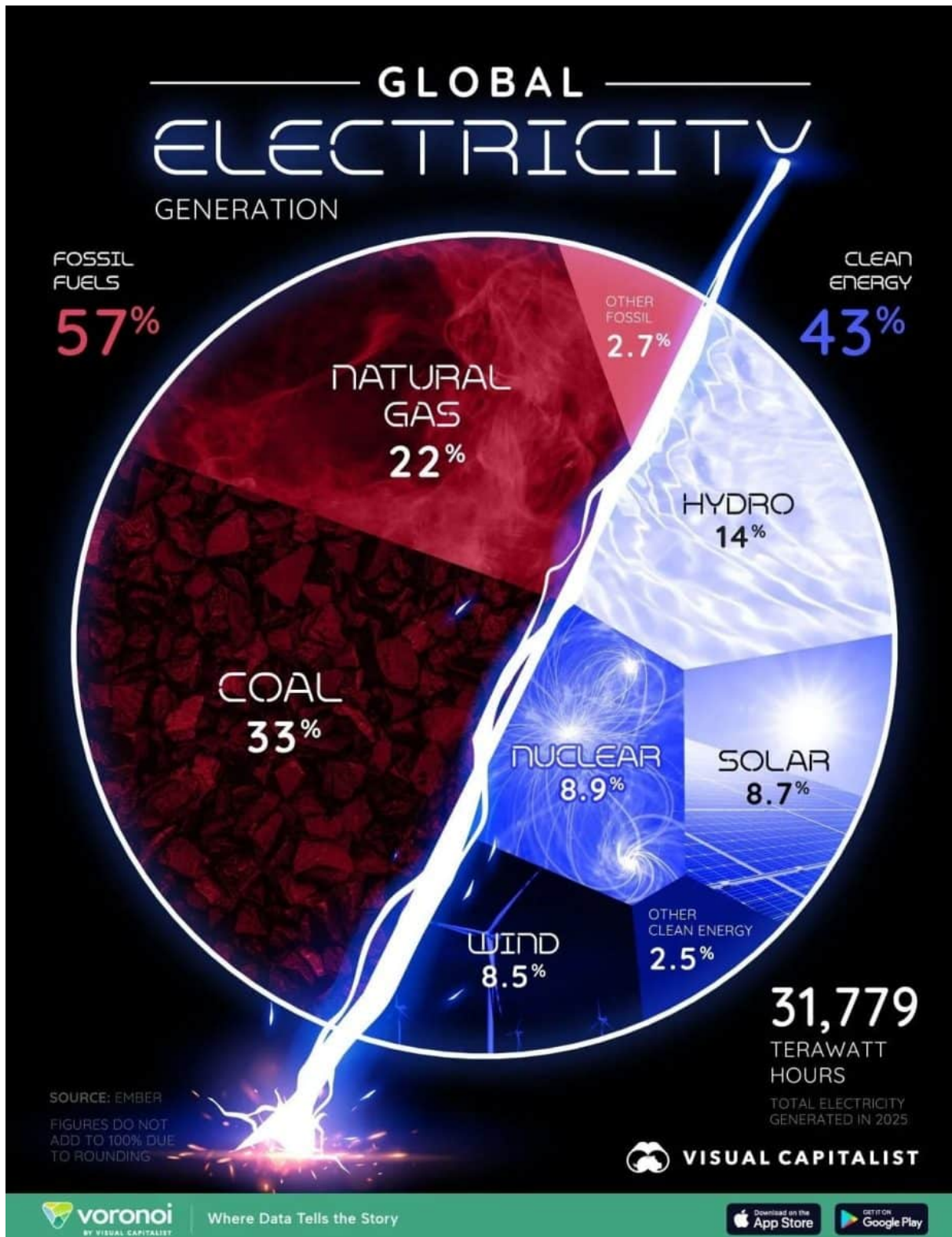
Тем не менее совокупная доля ископаемого топлива все еще составляет около 57% мировой электроэнергетики.

Солнечная и ветровая энергетика практически сравнялись по объему производства и сегодня обеспечивают примерно по 8–9% мировой генерации каждая.

Особенно впечатляющий рост демонстрирует солнечная энергетика. За последнее десятилетие она пережила настоящий бум благодаря резкому

¹ Источник: <https://naked-science.ru/community/1185631> Опубликовано 16.05.2026

снижению стоимости солнечных панелей и масштабному строительству станций в Китае, Европе и США.



Рейтинг крупнейших источников электроэнергии в мире

Ветровая энергетика также значительно расширилась, особенно за счет ветропарков в Европе и Азии. Вместе солнечная и ветровая генерация уже производят больше электроэнергии в мире, чем атомные станции или гидроэнергетика по отдельности.

Гидроэнергетика остается крупнейшим низкоуглеродным источником электричества, обеспечивая около 14% мировой генерации.

Многие страны полагаются на гидроэлектростанции как на стабильный и управляемый источник энергии, способный компенсировать нестабильность солнечной и ветровой генерации.

Атомная энергетика обеспечивает почти 9% мирового производства электроэнергии. Хотя рост ядерной отрасли в последние годы замедлился, ряд государств продолжает инвестировать в реакторы нового поколения и продлевать сроки эксплуатации действующих АЭС.

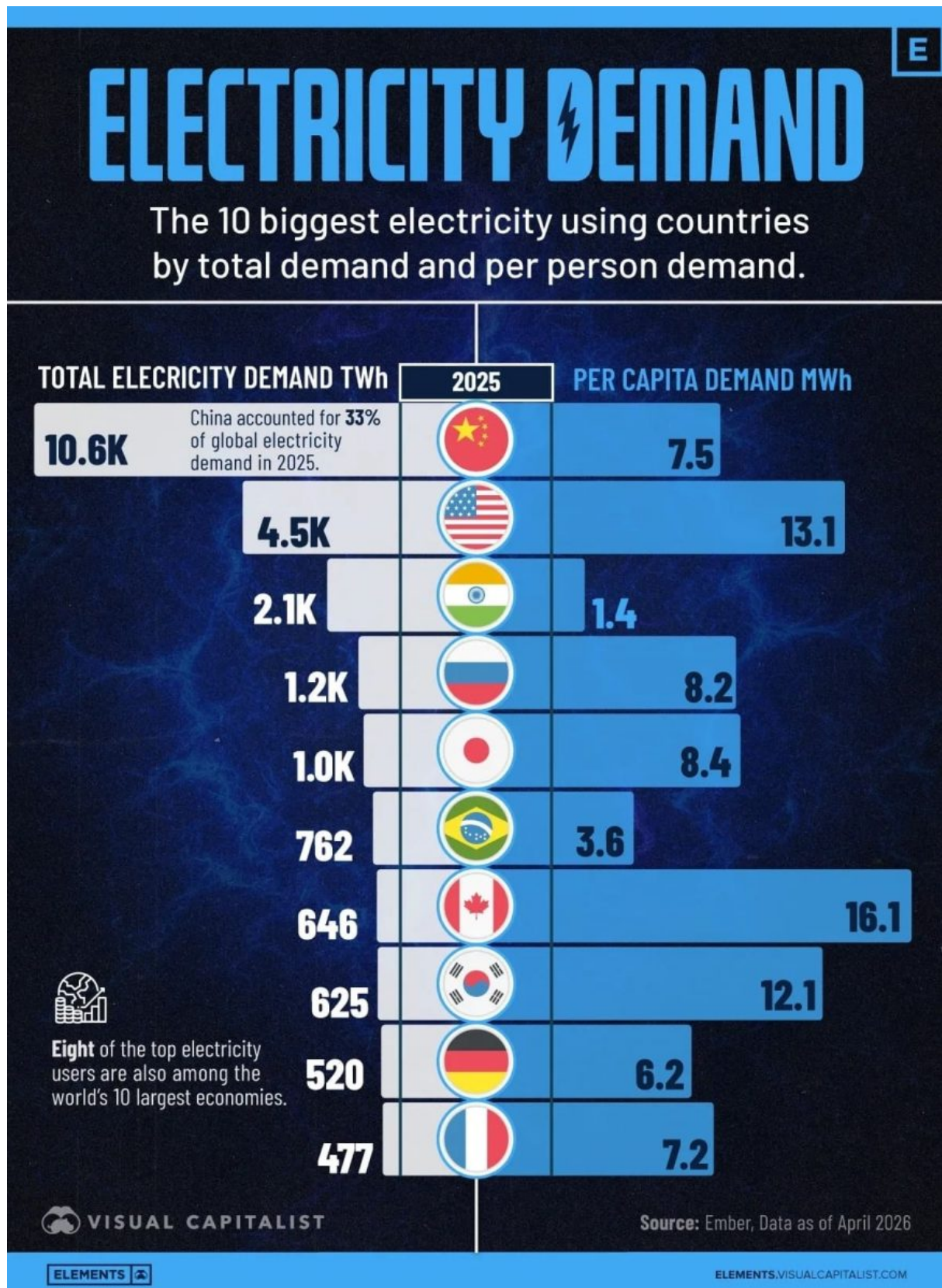
Рейтинг крупнейших стран – потребителей электроэнергии в мире²

Спрос на электроэнергию становится одной из ключевых экономических тем десятилетия. Его рост подпитывают промышленное развитие, распространение электромобилей, увеличение использования кондиционеров, а также стремительное расширение центров обработки данных для искусственного интеллекта.

Новая инфографика ранжирует крупнейших потребителей электроэнергии в мире в 2025 году на основе данных исследования Ember's Global Electricity Review 2026. В ней сравниваются общий объем потребления электроэнергии в тераватт-часах и потребление на душу населения в мегаватт-часах.

Сегодня потребление электроэнергии все теснее связано с объемами промышленного производства, развитием ИИ-инфраструктуры, распространением электромобилей и ростом уровня жизни в крупнейших экономиках мира.

² Источник: <https://naked-science.ru/community/1189707> Опубликовано 28.05.2026



Рейтинг крупнейших стран – потребителей электроэнергии в мире

Китай уверенно лидирует в мире, ежегодно потребляя более 10500 миллионов мегаватт-часов электроэнергии. На втором месте находятся Соединенные Штаты с показателем около 4500 миллионов мегаватт-часов, а Индия занимает третью позицию – чуть более 2000 миллионов мегаватт-часов. Россия находится на четвертом месте в мире с показателем 1200 миллионов мегаватт-часов.

Рост Китая кардинально изменил глобальную структуру энергопотребления. В начале 2000-х годов страна использовала менее 10% всей мировой электроэнергии. Сегодня на Китай приходится примерно треть мирового спроса. Одним из главных факторов остается промышленное производство, особенно такие энергоемкие отрасли, как металлургия, цементная промышленность и химическое производство. Однако сейчас появляются и новые источники роста потребления. Стремительное развитие китайской индустрии электромобилей, активное строительство дата-центров для искусственного интеллекта и все более широкое использование кондиционеров создают дополнительную нагрузку на энергетическую систему страны.

Хотя Китай занимает первое место по общему объему потребления, Канада и США являются мировыми лидерами по расходу электроэнергии на одного человека.

Среднестатистический житель Канады ежегодно потребляет около 16,1 мегаватт-часа электроэнергии, тогда как показатель США составляет 13,1 мегаватт-часа. Такой высокий уровень объясняется несколькими причинами: большими жилыми домами, широким использованием систем отопления и кондиционирования, а также высоким уровнем оснащенности бытовой техникой. В Канаде дополнительную роль играют суровые зимы, увеличивающие потребность в отоплении, а также энергоемкие отрасли – например, добыча полезных ископаемых и нефтяная промышленность.

Индия уже занимает третье место в мире по общему объему потребления электроэнергии, однако средний житель страны все еще использует значительно меньше энергии, чем население развитых государств. На одного человека в Индии приходится лишь около 1,4 мегаватт-часа в год – это существенно ниже среднемирового уровня.

Полный отказ от нефти, газа и угля потребует энергетической революции³

Полный отказ мировой экономики от ископаемого топлива к середине века потребует беспрецедентного роста производства электроэнергии, ускоренного развития ВИЭ и масштабной перестройки глобальной энергетической системы. К такому выводу пришла международная группа ученых, результаты исследования которой опубликованы в Nature Communications.

Авторы работы подсчитали, что при сценарии полного отказа от угля, нефти и газа к 2050 году мировая генерация электроэнергии должна вырасти примерно на 60–80% по сравнению с традиционными климатическими сценариями, соответствующими ограничению глобального потепления на уровне 1,5°C.

Ученые отмечают, что мировая климатическая дискуссия постепенно смещается от вопроса «нужно ли отказываться от ископаемого топлива» к вопросу «как именно это сделать».

По расчетам исследователей, полный отказ от ископаемого топлива возможен технически, однако потребует резкого роста солнечной и ветровой генерации, масштабной электрификации транспорта и промышленности, быстрого развития водородной энергетики, кратного увеличения инвестиций в энергосистему, модернизации инфраструктуры и электросетей.

Одним из ключевых выводов исследования стало то, что полный отказ от нефти, газа и угля позволит существенно снизить зависимость от технологий улавливания и хранения углерода (CCS), а также от систем удаления CO₂ из атмосферы.

Ведущий автор работы Шотаро Мори отметил, что сценарии полной декарбонизации и полного отказа от ископаемого топлива – это не одно и то же.

– Полный отказ от ископаемого топлива технически возможен, но он требует гораздо более быстрого внедрения возобновляемой электроэнергии, водородных систем и преобразования конечного потребления энергии, – подчеркнул исследователь.

По оценкам ученых, среднегодовые инвестиции в производство электроэнергии из неископаемых источников в период до 2050 года должны вырасти в 2,5–3 раза по сравнению с текущим уровнем.

³ Источник: <https://nia.eco/2026/05/21/114355/> Опубликовано 21.05.2026

При этом авторы признают, что такие сценарии несут серьезные экономические и социальные вызовы, особенно для стран, экономика которых зависит от добычи и экспорта ископаемого топлива.

В исследовании подчеркивается необходимость международного сотрудничества, поддержки регионов энергоперехода и программ «справедливого перехода» для работников угольной, нефтяной и газовой отраслей.

Возобновляемая энергетика

ВИЭ способны обеспечивать непрерывное электроснабжение дешевле, чем традиционная генерация⁴

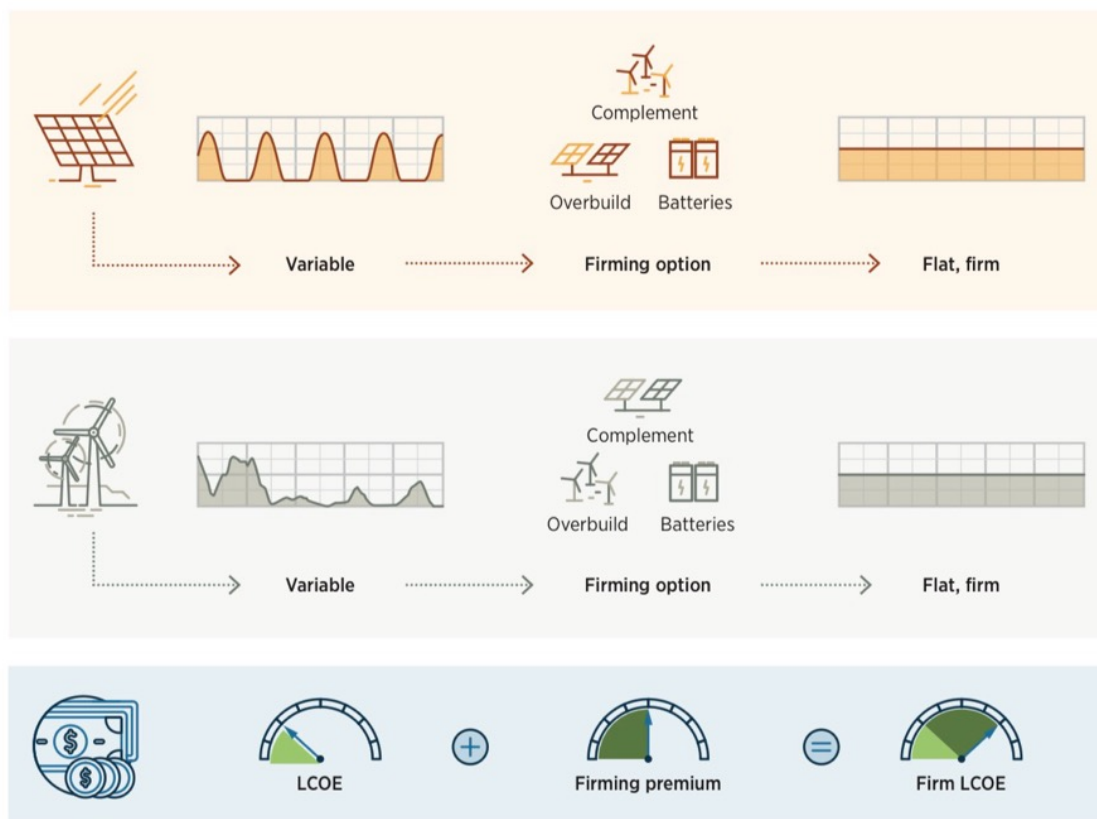
Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) опубликовало новый доклад по экономике ВИЭ «Возобновляемые источники энергии 24/7».

Использование переменных возобновляемых источников энергии (солнца и ветра) давно стало самым дешевым способом производства электроэнергии. Однако показатель приведенной стоимости электроэнергии (LCOE), который обычно используется для сравнения технологий, не учитывает дополнительные инвестиции, необходимые для обеспечения непрерывности и надежности поставок электроэнергии из возобновляемых источников.

Вопросы таких «интеграционных или системных» расходов в связи с ВИЭ поднимаются давно. Например, мы публиковали материал «Интеграция ВИЭ в энергосистему: практика, мифы и легенды» – большой обзор документов МЭА середины прошлого десятилетия по данной теме. Или в 2017 году разбирали большой британский доклад «Влияние технологий генерации на энергосистему в целом», который не дал каких-то конкретных значений, поскольку «любая количественная оценка затрат существенно зависит от базового сценария, который используется». Министер-

⁴ Источник: <https://reenen.ru/vie-sposobny-obespechivat-nepreryvnoe-elektrosnabzhenie-deshevlechem-traditsionnaya-generatsiya/> Опубликовано 06.05.2026

ство энергетики США давно рассчитывало помимо LCOE также «устрашенные затраты» (avoided cost) – показатель LACE и т.д.



Недавно в текущем году вышло исследование, в котором вводился показатель SLCOE (системная LCOE), который является «функцией как технологии, так и контекста энергетической системы, в которой она работает».

В новом докладе IRENA также вводится новый подобный показатель под названием F-LCOE (firm levelised cost of electricity), то есть приведенная стоимость производства электричества при гарантированных поставках такой электроэнергии.

По информации агентства, применяемый подход концептуально связан с подходом приведенной стоимости покрытия нагрузки (LCOLC), предложенной Гриммом и соавторами, который смещает акцент с затрат на выработку электроэнергии на затраты на удовлетворение определенного спроса на электроэнергию с помощью оптимизированного сочетания технологий генерации и хранения. LCOLC обычно предполагает полное покрытие нагрузки в качестве детерминированного ограничения. Однако принятая IRENA методология ослабляет это условие, «вводя эксплицитный параметр надежности, позволяющий модели находить конфигурацию

с наименьшими затратами для любого заданного уровня надежности доставки, а не требовать полного покрытия спроса в любое время».

Моделирование, проведенное IRENA, показало, что стоимость производства электроэнергии из возобновляемых источников с гарантированным энергоснабжением стремительно снижается благодаря удешевлению компонентов солнечных и ветровых электростанций, систем накопления энергии на основе батарей. Ожидается, что эта тенденция продолжится в ближайшие 5–10 лет.

Анализ гибридных объектов, в которых солнечные электростанции комбинируются с батареями показал, что F-LCOE упала с уровня более 100 долларов США/МВт ч в 2020 году до около 54-82/МВт ч в 2025 году в районах с высокой солнечной радиацией. Дальнейшее сокращение затрат примерно на 30% к 2030 году и 40% к 2035 году прогнозируются по текущим технологиям, опуская F-LCOE в 2035 году ниже 50\$/МВт ч на лучших участках.

В Китае в настоящее время определяется нижняя граница стоимости производства электроэнергии из возобновляемых источников с гарантированным энергоснабжением и хранением энергии. Моделирование, проведенное на основе данных по 252 крупным солнечным фотоэлектрическим проектам, введенных в эксплуатацию в 2024 году, показало, что значительная часть из них может производить электроэнергию по цене ниже 100 долларов США за МВт ч. При этом минимальная стоимость производства электроэнергии с гарантированным энергоснабжением в выборке проектов составляет всего 30 долларов США за МВт ч при уровне надежности 90%, а при уровне надежности 99% она возрастает лишь незначительно – примерно до 46 долларов США за МВт ч. При этом более половины проектов в выборке имеют стоимость ниже 100 долларов США за МВт ч даже при самом высоком уровне надежности.

В других регионах F-LCOE пока выше, чем в Китае, но быстро снижается.

Затраты можно опустить еще больше, когда объекты солнечной и ветровой генерации комбинируются, что позволяет снижать требования к хранению энергии и общей стоимости системы.

Ветроэнергетика

Турбины в море перераспределяют миллионы тонн ила и влияют на хранение углерода⁵

Морские ветроэлектростанции в Северном море оказывают заметное влияние на движение донных отложений и накопление углерода на морском дне. К такому выводу пришли учёные Центра имени Гельмгольца в Германии – результаты опубликованы в журнале *Nature Communications Earth & Environment*.

Северное море постоянно перемешивает взвешенные частицы: волны и течения поднимают донный ил, реки и Атлантический океан приносят новый материал. Эти частицы многократно оседают и снова уходят в толщу воды, пока не накапливаются в относительно спокойных зонах. Часть из них – остатки морских организмов, содержащие органический углерод, который, осев на дно, может храниться там столетиями. Именно так морское дно работает как естественный поглотитель углерода.

Турбины нарушают этот привычный маршрут. Находясь одновременно над и под водой, они действуют как препятствия: замедляют течения, меняют расслоение водных масс и тем самым влияют на то, куда в итоге оседает ил. По расчётам исследователей, уже существующие ветропарки ежегодно перераспределяют до 1,5 миллиона тонн осадочных пород вместе с содержащимся в них углеродом. Около 52% этого перераспределения приходится на Немецкую бухту.

Для оценки масштабов явления команда разработала компьютерную модель, объединяющую данные об атмосферных условиях, волнах, течениях и переносе наносов. Модель показывает: по мере расширения ветроэнергетики – а ЕС планирует увеличить мощности в Северном море более чем в десять раз к 2050 году – объёмы перераспределения будут нарастать.

Исследователи подчёркивают, что речь не идёт о призыве остановить развитие морской ветроэнергетики. Цель – понять долгосрочные последствия для прибрежных экосистем, включая Ваттовое море, которое зависит от постоянного притока осадков для компенсации подъёма уровня моря.

⁵ Источник: <https://ecosphere.press/2026/04/29/turbiny-v-more-pereraspredelyayut-milliony-tonn-ila-i-vliyaet-na-hranenie-ugleroda/> Опубликовано 29.04.2026

Полученные данные должны помочь планировать размещение новых ветропарков с учётом экологических рисков.

Солнечная энергетика

Солнце станет главным источником электроэнергии в мире к 2032 году⁶

По данным нового отчёта BloombergNEF, глобальные потрясения могут ускорить энергопереход: страны стремятся снизить зависимость от импорта ископаемого топлива и укрепить энергобезопасность. Солнечная энергия станет крупнейшим источником электричества в мире к 2032 году, а глобальная мощность накопителей к 2035 вырастет в 17 раз – до 3,8 ТВт. При этом цель удержать потепление в 1,5°C уже недостижима.

За последние десять лет мировой энергетический рынок пережил несколько потрясений, начиная с пандемии COVID-19, заканчивая военными конфликтами. Эти события обнажили уязвимость существующей системы поставок энергии и усилили интерес к локальным и низкоуглеродным источникам. В BNEF считают, что при сохранении текущего курса на внедрение конкурентоспособных чистых технологий страны смогут постепенно снизить зависимость от внешних поставок топлива.

Спрос на электроэнергию будет устойчиво расти – к 2035 году на 29%, а к 2050 году на 69%. Его формируют сразу несколько факторов: рост населения и доходов, электрификация транспорта и промышленности, а также стремительное расширение цифровой инфраструктуры, включая центры обработки данных. Уже в 2025 году их мощность достигла 84 ГВт, а потребление составило 500 ТВт ч, или почти 2% мирового спроса на электроэнергию. Это увеличение на 20% по сравнению с предшествующим годом.

Согласно базовому сценарию BNEF, солнечная энергия станет крупнейшим источником электричества в мире к 2032 году. Это станет возможным благодаря снижению стоимости технологий, технологическому прогрессу и избытку производственных мощностей. Параллельно резко

⁶ Источник: <https://hightech.plus/2026/05/20/solnce-stanet-glavnim-istochnikom-elektroenergii-v-mire-k-2032-godu> Опубликовано 20.05.2026

вырастет роль систем накопления энергии: их глобальная мощность увеличится в 17 раз – с 223 ГВт в 2025 году до 3,8 ТВт к 2035 году.

Отдельно отмечается, что переход к электроэнергии будет происходить неравномерно. В Китае электричество стало доминирующим конечным энергоносителем еще в 2023 году, Индия достигнет этого перелома в 2041 году, Европа – к 2043-му, а США – только к концу 2040-х годов. При этом во всех регионах уголь постепенно теряет позиции, а его доля в генерации будет снижаться вплоть до 2050 года.

Несмотря на рост электрификации, природный газ обеспечит около четверти нового спроса на энергию, тогда как электричество будет покрывать до двух третей. В целом энергосистема становится более сложной и гибкой: к 2035 году 11% всей выработки будет перераспределяться между различными секторами и направлениями потребления, что потребует инвестиций в сети и инфраструктуру.

В BNEF отмечают: цель удержать потепление в пределах 1,5°C уже фактически недостижима. Даже по консервативным прогнозам, рост температуры составит 1,8°C. Китай остаётся главным драйвером сокращения выбросов в рамках углеродного рынка (ETS). К 2030 году, по прогнозам, выбросы в стране снизятся на 17% по сравнению с пиком 2023 года, а к 2050 году – почти наполовину, хотя всё равно останутся выше текущих показателей США и Европы.

Инвестиции в энергетический переход достигли рекордных \$2,3 трлн в 2025 году, но для достижения нулевых выбросов к 2050 году потребуется еще \$235 трлн. Несмотря на триллионные вложения, «дешёвая энерготехнология будущего» так и не появилась. Большие надежды возлагают на новые ядерные, геотермальные и аккумуляторные решения, однако ни одно из них ещё не доказало свою эффективность в достаточном масштабе.

Установленная мощность солнечной энергетики в мире составила около 3 ТВт по итогам 2025⁷

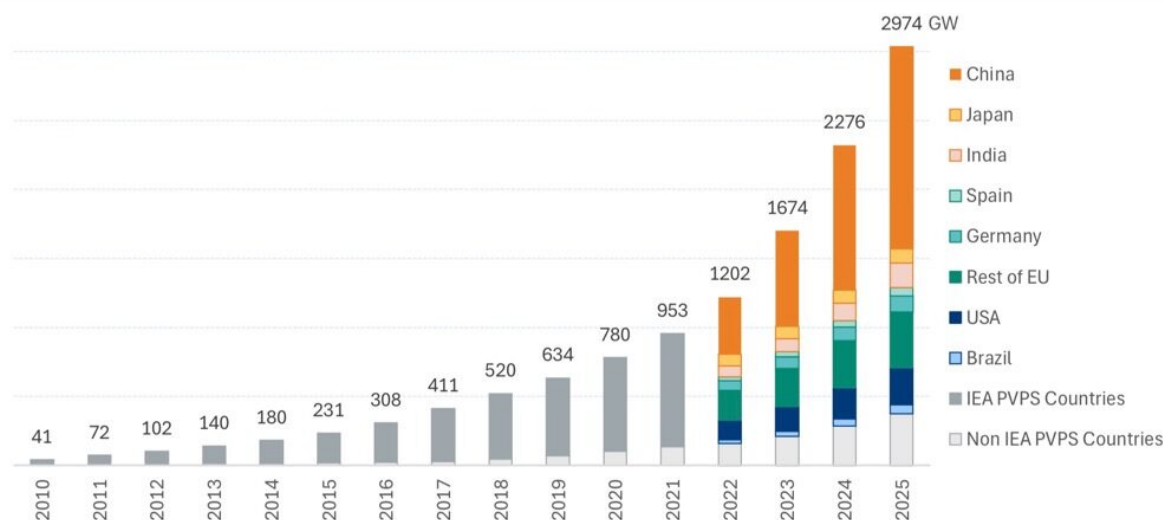


FIGURE 5: EVOLUTION OF CUMULATIVE PV INSTALLATIONS IN MAJOR MARKETS

Source IEA PVPS

Солнечная энергетика в мире в 2025 году

IEA PVPS, программа по фотоэлектрическим системам (PVPS) Международного энергетического агентства (МЭА), опубликовала очередной ежегодный доклад о развитии солнечной энергетики “Snapshot of Global PV Markets 2026”.

В прошлом году в мире было установлено «как минимум» 608 ГВт (постоянного тока) новых мощностей фотоэлектрической солнечной энергетики, но это число может вырасти до 698 ГВт. То есть IEA PVPS приводит не один показатель прошлогодних вводов, а интервал, поскольку есть неопределенность, могут появиться новые сведения, и в разных странах данные могут публиковаться в единицах либо переменного, либо постоянного тока, что может давать ошибки при пересчете.

«Централизованные» объекты солнечной энергетики заняли 59% долю в новых установках в 2025 году, остальное приходится на распределенную генерацию. Такое соотношение является довольно устойчивым в исторической перспективе.

Установленная мощность солнечной энергетики в мире вплотную приблизилась к отметке 3 ТВт, составив 2973 ГВт.

⁷ Источник: <https://renen.ru/ustanovlennaya-moshhnost-solnechnoj-energetiki-v-mire-sostavila-okolo-3-tvt-po-itogam-2025/> Опубликовано 16.05.2026

Китай по-прежнему остается крупнейшим рынком с большим отрывом. В 2024 году в стране было введено в строй до 415 ГВт солнечных мощностей (постоянного тока), что составляет примерно 60% от общемировых вводов, а установленная мощность фотоэлектрической солнечной энергетики КНР превысила 1463 ГВт. Напомню, согласно официальным китайским данным, ввод солнечных мощностей в КНР в прошлом году составил 315 ГВт (переменного тока), а установленная мощность солнечной энергетики достигла 1201,73 ГВт.

Второе место занял Европейский союз, где было введено в эксплуатацию 65,7 ГВт, а на третьем месте оказалась Индия (55,9 ГВт), опередившая США (43,2 ГВт).

Отметим, что в первой шестерке крупнейших рынков три страны БРИКС-5 – Китай, Индия и Бразилия, занявшая шестое место с показателем 13,8 ГВт.

Пакистан, как и в прошлом году, снова уверенно вошел в число крупнейших рынков, установив, по предварительным оценкам авторов, 15,8 ГВт (пятое место).

В топ-10 вошла и Саудовская Аравия, которая ввела в эксплуатацию 6,8 ГВт (девятое место).

В 2025 году 39 стран установили более 1 ГВт новых солнечных мощностей (в 2024 году таких было 34); и в 26 странах установленная мощность солнечной энергетики превысила 10 ГВт.

По установленной мощности солнечной энергетики на душу населения лидирует Австралия (1629 МВт), на втором месте Нидерланды (1601 МВт), на третьем Германия (1404 МВт).

По оценке IEA PVPS, доля солнца в конечном потреблении электроэнергии в мире (за исключением сетевых потерь и собственного потребления электростанций) «теоретически» может составлять 12% (отношение теоретической выработки построенных на конец года мощностей к годовому конечному потреблению электроэнергии).

Солнечный кремниевый элемент Longi достиг рекордной эффективности 28,13%⁸

Китайский производитель солнечных батарей Longi сообщил о рекордной эффективности преобразования для кремниевого фотоэлемента типа HIBC – 28,13%. Результаты испытаний были подтверждены немецким Институтом исследований солнечной энергии в Хамельне. Технологический прорыв компании в лаборатории уже трансформировался в конкурентное преимущество в массовом производстве, заявили представители Longi.

В основе фотоэлемента типа HIBC (гибридного гребенчатого элемента с контактами на задней части устройства) лежит комбинация туннельных контактов с пассивацией, диэлектрических пассивирующих слоев и контактов n- и p-типов. Элемент собран на высокоомной разрезанной пополам подложке M10 с пассивацией краев и оптимизированными контактами n-типа, созданными с использованием комбинированного высоко- и низкотемпературного процесса. Слой оксида индия-олова улучшает латеральный перенос носителей заряда, а многослойные покрытия из оксида алюминия и нитрида кремния снижают рекомбинацию на поверхности.

Исследователи также снизили легирование фосфором в поликремниевом слое n-типа, чтобы ограничить диффузию легирующей примеси в подложку. Пассивация краев осуществляется в процессе производства. Вдобавок, специалисты смогли предотвратить утечку между контактами n- и p-типа, а более толстый слой аморфного кремния улучшает покрытие узлов и пассивацию боковых стенок.

Для кристаллизации аморфного кремния и снижения контактного сопротивления используется импульсный зеленый наносекундный лазер.

Компания заявила в пресс-релизе, что благодаря этому и предыдущим технологическим прорывам уже заняла лидирующие позиции в массовом производстве. А также утверждает, что новый метод может быть масштабирован для производства гетеропереходных солнечных элементов, хотя для снижения потерь все еще требуются дальнейшие исследования.

Новый солнечный элемент из кремния и перовскита представили недавно ученые из Швейцарии. Он сочетает высокое напряжение, отличную эффективность и возможность масштабируемого производства.

⁸ Источник: <https://hightech.plus/2026/04/29/solnechnii-kremnievii-element-longi-dostig-rekordnoi-effektivnosti-2813> Опубликовано 29.04.2026

Солнечная энергетика страдает от угольных ТЭС, установили учёные⁹

Из-за загрязнения воздуха от угольных электростанций снижается эффективность солнечных панелей, установили исследователи из Китая, Великобритании и Австралии. Только в 2023 году аэрозольное загрязнение уменьшило выработку энергии на солнечных электростанциях на 5,8 %, что соответствует 111 ТВт·ч.

Учёные проанализировали показатели работы более 140 тыс. солнечных электростанций по всему миру, подключив данные со спутников и алгоритмы машинного обучения – как выяснилось, из-за аэрозолей за год теряется до трети солнечной генерации, которую дают новые мощности. Основными виновниками исследователи считают угольные ТЭС, которые дают выбросы диоксида серы (SO₂) – эти частицы поглощают и рассеивают солнечное излучение, в результате чего панелей достигает меньшее количество света; дополнительный эффект оказывают оксиды азота, углеродные аэрозоли и мелкодисперсная пыль.

В 2023 году в Китае были выработаны 793,5 ТВт·ч солнечной энергии, а потери из-за аэрозольного загрязнения составили 61,3 ТВт·ч – половину от показателя по всей Земле; в результате китайская солнечная генерация сократилась на 7,7 %. Интересно, что при таких высоких показателях Китай ежегодно сокращает потери солнечной энергии – с 2013 по 2023 годы средний темп снижения составил 1,4 % ежегодно. В стране ужесточаются экологические требования к электростанциям, отмечается крупномасштабная модернизация мощностей в соответствии со стандартами ультранизких выбросов.

США теряют из-за аэрозолей лишь 3,1 % солнечной выработки – здесь ниже уровень загрязнения, а география угольных и солнечных электростанций совпадает реже. В Китае же они часто соседствуют, в том числе в пустынных западных регионах, которые активно осваиваются под возобновляемые источники энергии. Если принять в расчёт не только аэрозольные выбросы ТЭС, но и погодный фактор, потери солнечной энергетики за 2023 год составили 515 ТВт·ч при общей генерации 1911 ТВт·ч в этом сегменте. По мере роста спроса на электроэнергию значение этого фактора будет расти, предупреждают учёные. До 2027 года среднегодовой рост мирового потребления энергии составит 4 % из-за технологий ИИ, промышленности и электрификации транспорта. Многие страны до сих

⁹ Источник: <https://3dnews.ru/1141836/solnechnaya-energetika-stradaet-ot-ugolnih-tes-ustanovili-uchyonie> Опубликовано 16.05.2026

пор рассматривают угольную энергетику как резервную, считая ветровую и солнечную генерацию нестабильными источниками.

Солнечные станции уходят в море: плавающие панели оказались эффективнее наземных¹⁰

Плавающие солнечные электростанции в море могут стать одним из ключевых направлений развития возобновляемой энергетики для стран с дефицитом свободных земель. К такому выводу пришли исследователи Национального Тайбэйского технологического университета, сравнившие экологическую и энергетическую эффективность наземных и морских плавучих солнечных систем. Работа опубликована в *Journal of Renewable and Sustainable Energy*.

Авторы исследования изучили первую крупную коммерческую офшорную плавучую солнечную электростанцию Тайваня и сопоставили ее показатели с традиционными наземными солнечными фермами.

По результатам анализа оказалось, что морские плавучие солнечные системы способны производить примерно на 12% больше электроэнергии в течение жизненного цикла по сравнению с аналогичными наземными установками. Это, в свою очередь, обеспечивает более высокий эффект по сокращению выбросов углекислого газа.

– Даже при использовании схожих технологий размещение солнечных панелей на воде делает систему более эффективной, – отметил один из авторов исследования Чинг-Фэн Чен.

Одной из ключевых причин ученые называют охлаждающий эффект воды. Перегрев снижает производительность солнечных панелей, тогда как морская поверхность помогает естественным образом отводить тепло и поддерживать более стабильную работу оборудования.

Для корректного сравнения исследователи использовали одинаковую условную мощность систем – 100 мегаватт-пик (MWp), позволяющую оценивать выработку энергии и углеродный след вне зависимости от размера станции.

¹⁰ Источник: <https://nia.eco/2026/05/20/114297/> Опубликовано 20.05.2026

Авторы подчеркивают, что для Тайвань развитие возобновляемой энергетики особенно сложно из-за высокой плотности населения и ограниченных земельных ресурсов. В этих условиях морские плавучие солнечные станции рассматриваются как один из стратегических вариантов достижения углеродной нейтральности к 2050 году.

По мнению исследователей, подобные решения могут быть востребованы и в других странах с дефицитом территорий, высокой стоимостью земли или ограничениями на строительство крупных наземных СЭС.

Эксперты отмечают, что мировой интерес к плавучей солнечной энергетике растет на фоне стремления государств ускорить декарбонизацию экономики и снизить конкуренцию между энергетикой, сельским хозяйством и природоохранными территориями за земельные ресурсы.

При этом дальнейшее развитие офшорных солнечных станций требует оценки их влияния на морские экосистемы, судоходство и прибрежную инфраструктуру.

Китайские ученые приблизили перовскитные солнечные панели к промышленному применению¹¹

Исследователи Китайской академии наук сообщили о разработке новой технологии для тандемных солнечных элементов на основе перовскита и кремния, которая позволила повысить их эффективность и долговременную стабильность. Результаты работы опубликованы в журнале *Matter*.

Тандемные солнечные элементы сочетают верхний слой перовскита, эффективно поглощающий солнечный свет, и нижний кремниевый слой. Такая конструкция считается одним из наиболее перспективных направлений развития солнечной энергетики благодаря высокой потенциальной эффективности и возможности создания более легких фотоэлектрических модулей.

Одной из главных проблем технологии до сих пор оставалась сложность нанесения равномерного слоя перовскита на текстурированную поверхность кремниевых подложек. Это приводило к локальным утечкам тока и снижало стабильность работы солнечных элементов.

¹¹ Источник: <https://nia.eco/2026/05/22/114385/> Опубликовано 22.05.2026

Команда ученых из Нинбоского института материаловедения и инженерии совместно с партнерами предложила новую стратегию так называемой селективной пассивации пиков.

Для этого исследователи использовали наночастицы полистирола и тонкий слой оксида алюминия, который наносится на вершины пирамидальной текстуры кремниевой подложки и блокирует пути электрических утечек.

В результате ученым удалось достичь эффективности преобразования энергии 33,33%, а сертифицированный показатель составил 32,89%.

Кроме того, солнечный элемент сохранил около 90% первоначальной эффективности после 1000 часов непрерывной работы, что считается важным показателем долговременной стабильности.

По словам одного из авторов исследования Е Джичунь, новая технология совместима с существующими промышленными производственными линиями и может ускорить коммерциализацию перовскитно-кремниевых солнечных элементов.

Солнечные панели под поездами: как Швейцария превращает железные дороги в источник чистой энергии¹²

Представьте себе обычную железную дорогу. По рельсам с грохотом проносятся поезда, а между ними узкая полоса гравия и шпал. Это пространство обычно пустует. А что, если положить туда солнечные панели, чтобы они вырабатывали электричество прямо под колесами поездов? Звучит как фантастика, но в Швейцарии это уже реальность.

В апреле 2025 года недалеко от небольшой деревни Бютт в кантоне Невшатель запустили необычный эксперимент. На участке длиной всего 100 метров между рельсами установили 48 солнечных панелей. Поезда продолжают ходить как обычно, а панели спокойно собирают солнечный свет. Это первый в мире такой проект на действующей железной дороге.

Швейцария – страна с развитой железнодорожной сетью и высокими целями по чистой энергии. Здесь уже много поездов ездят на электриче-

¹² Источник: <https://www.ixbt.com/live/car/solnechnye-paneli-pod-poezdami-kak-shveycariya-prevrashaet-zheleznye-dorogi-v-istochnik-chistoy-energii.html> Опубликовано 7.06.2026

стве, но для новых источников энергии не так просто найти свободное место. Горы, леса и плодородные поля люди яростно защищают от застройки. Когда предлагают ставить большие солнечные станции в Альпах, местные жители часто возражают никто не хочет портить красивые пейзажи.



Тестовый участок с солнечными панелями на путях

Именно поэтому идея использовать уже существующую инфраструктуру выглядит очень разумной. Железные дороги занимают длинные полосы земли по всей стране, но пространство между рельсами почти не используется. Швейцарская компания Sun-Ways придумала, как это исправить.

Для обеспечения надежности конструкции панели изготавливаются максимально плоскими и прочными, чтобы противостоять вибрациям от проходящих составов, давлению воздушных потоков и ударам мелких камней. Их монтаж осуществляется с помощью специализированной техники, которая укладывает солнечные модули на рельсовый путь в развернутом виде, словно ковер. Этот процесс отличается высокой скоростью: за один день можно уложить до тысячи квадратных метров покрытия.

Ключевое преимущество технологии – возможность легкого демонтажа. При необходимости проведения ремонтных работ или осмотра путей, панели быстро снимаются, а затем возвращаются на место. Без этой функции проект не получил бы одобрения.

На тестовом участке панели генерируют мощность около 18 киловатт. За год это составляет примерно 16 тысяч киловатт-часов, чего хватает для электроснабжения нескольких частных домов. Хотя для масштабов

всей страны такой объем кажется незначительным, но стоит помнить, что это лишь начальная стадия испытаний.



Экспериментальный период запланирован до апреля 2028 года. В ходе него специалисты тщательно отслеживают следующие параметры:

- Стойкость панелей к постоянным нагрузкам от поездов;
- Степень загрязнения поверхностей пылью и грязью;
- Отсутствие помех для систем сигнализации и диагностического оборудования;
- Риск создания бликов, способных отвлечь машинистов;
- Простоту очистки и технического обслуживания.

В целях безопасности применяются антибликовые покрытия и датчики. Также разработаны специальные щетки, которые могут устанавливаться на поезда для очистки панелей непосредственно во время движения.

Изначально швейцарские транспортные власти отвергли инициативу из-за рисков для безопасности. Компании пришлось пройти через дополнительные испытания и независимые исследования, чтобы доказать минимальный уровень угрозы. Теперь реализация проекта происходит под строгим надзором властей.

Пока энергию от панелей просто отдают в местную сеть. Но в будущем её можно использовать по-разному, например, питать светофоры,

стрелки и станции, отдавать в общую электросеть или направлять на питание самих поездов.

Реализация последнего сценария позволила бы составам двигаться практически на собственной энергии. Конечно, одного небольшого участка недостаточно для полного обеспечения даже одного поезда, но масштабирование технологии на тысячи километров путей даст ощутимый результат.

В Швейцарии около 5000 километров железных дорог. Если покрыть панелями значительную часть, можно получить около одного тераватт-часа электричества в год – это примерно 2% от всего потребления энергии в стране. Это уже ощутимо.

А если посмотреть шире и оценить размеры в планетарном масштабе, то мы увидим, что в мире больше миллиона километров железных дорог. Компания мечтает, что половину из них можно будет оснастить такими системами. Конечно, это амбициозная оценка. Не все пути подходят: есть туннели, затенённые участки, места покрытые снегом или подверженные частым ремонтам и на таких участках установка солнечных панелей либо невозможна либо не рентабельна. Но даже если получится использовать лишь часть – это тысячи гектаров, на которых не нужно вырубать леса и занимать сельскохозяйственные земли.

Солнечная энергия стала одной из самых дешёвых и быстрорастущих. Но чем больше её нужно, тем острее встаёт вопрос: где ставить панели? Этот проект позволяет использовать уже освоенную человеком землю, а не отбирать новую у природы.

Аналогичные решения внедряются и в других регионах: солнечные панели размещают над каналами, парковками и вдоль автомагистралей. Они не способны полностью заменить крупные электростанции, но способствуют снижению экологической нагрузки.

Швейцарский эксперимент, пусть и скромный по масштабам, но он является важным этапом. За его результатами следят не только местные специалисты. Французская железнодорожная компания SNCF уже заключила соглашение о сотрудничестве и планирует изучить полученные данные.

Если панели продемонстрируют высокую эффективность, перед нами откроется новый вариант получения чистой энергии без изменения привычного ландшафта, а с помощью уже проложенных железных дорог. Поезда продолжат курсировать как обычно, а между рельсами будет тихо и незаметно работать солнечная генерация.

Традиционная энергетика

Исчезновение ледников изменит работу горных ГЭС¹³

Глобальная волна исчезновения ледников достигнет максимума в середине XXI века. По расчетам международной группы климатологов, опубликованным в журнале Nature Climate Change, в период с 2041 по 2055 год планета будет терять до четырех тысяч ледовых массивов ежегодно. Этот процесс затронет водосборные бассейны по всему миру, от Альп до Центральной Азии. Для гидроэнергетической отрасли такие темпы таяния означают перестройку всей системы управления водными ресурсами, поскольку именно ледники исторически выступали главным накопителем влаги для горных рек.

Сейчас отрасль столкнулась с климатическим парадоксом. Ускоренное таяние дает станциям мощный, но временный избыток стока. По словам Маржори Перру, специалиста по экологии швейцарской энергетической компании Alpiq, в кантоне Вале на ГЭС «Гебидем» периодически фиксируются случаи холостого сброса воды. Резервуары станции не проектировались под текущие объемы талых вод Аалечского ледника, и энергетики получают больше ресурса, чем способны переработать гидротурбины. Это изобилие формируется исключительно за счет расходования тысячелетних запасов льда, и по мере их истощения объемы стока неизбежно пойдут на спад. Моделирование, проведенное аналитиками компании, показывает, что к концу столетия водообеспеченность отдельных горных бассейнов упадет на треть.

В ближайшие десятилетия изменится сама сезонность притока. Пик поступления воды сместится с летних месяцев на весну. Осадки в высокогорье все чаще будут выпадать в виде дождя, а не снега. В результате гидроэлектростанции лишатся естественного природного аккумулятора, который веками собирал влагу зимой и равномерно отдавал ее в русла в засушливые летние периоды. Энергокомпаниям придется взять эту функцию на себя, физически увеличивая емкость искусственных водохранилищ для удержания весенних паводков.

Потепление несет еще одну технологическую проблему для энергетической инфраструктуры – резкий рост объемов осадочных пород. Дегра-

¹³ Источник: <https://hydropost.ru/id/333945> Опубликовано 14.05.2026

дация вечной мерзлоты дестабилизирует горные склоны. Усилившиеся потоки талой воды вымывают грунт и обломки скал, неся их прямо в водохранилища. В Alpiq констатируют, что этот материал заиливает водохранилища, сокращая их полезный объем, и работает как абразив, ускоряя износ гидротурбин. Энергетикам приходится направлять дополнительные инвестиции на расчистку дна водоемов и антикоррозийную защиту силового оборудования.

Адаптация к новым условиям требует закладки инженерных решений уже сегодня. В швейцарских Альпах планируется наращивание высоты действующих плотин, таких как ГЭС «Муаре» в долине Вальд'Аннивье, и создание новых водохранилищ, включая проект ГЭС «Горнерли» над Церматтом. Специалисты отрасли сходятся во мнении, что в будущем такие объекты перестанут быть узкоспециализированными станциями для генерации электричества. Они возьмут на себя функции многоцелевых центров: от предотвращения разрушительных паводков до обеспечения муниципалитетов питьевой водой и снабжения фермерских хозяйств системами ирригации.

Финтех не спасет ГЭС: гидроэнергетике нужны традиционные банки¹⁴

Развитие финансовых технологий и цифровизация экономики оказались бесполезными для строительства гидроэлектростанций. К такому выводу пришли экономисты, проанализировавшие энергетические рынки тридцати двух ведущих стран мира. Оказалось, что современные инструменты вроде краудфандинга и блокчейна отлично работают при установке солнечных панелей или ветряков, но пасуют перед масштабами большой воды. Возведение плотин по-прежнему требует консервативного банковского капитала, а также серьезной дипломатической работы на межгосударственном уровне. Результаты исследования опубликованы вчера в научном журнале *Humanities and Social Sciences Communications*.

Классический финансовый сектор также неохотно идет в гидроэнергетику. Исследователи проследили динамику инвестиций с начала нулевых годов и выяснили, что номинальный рост банковского сектора сам по себе не ведет к увеличению числа новых станций. Традиционные инвесторы часто предпочитают менее рискованные активы или продолжают кредито-

¹⁴ Источник: <https://hydropost.ru/id/293985> Опубликовано 19.05.2026

вать добычу ископаемого топлива. Речные мегапроекты пугают финансистов высокой капиталоемкостью, долгими сроками окупаемости и сложными экологическими экспертизами. В результате масштабные гидроэнергетические стройки остаются уделом государств или крупных профильных фондов.

Бурное развитие онлайн-сервисов лишь усугубило этот разрыв. Финтех-приложения позволили мелким инвесторам вскладчину финансировать солнечные парки и объединяться в децентрализованные сети для продажи излишков энергии. Однако гидроэнергетика от этой технологической революции только проиграла. Огромные объемы средств, необходимые для строительства, невозможно собрать через платформы для микроинвестиций. Отрасли требуются совершенно иные бизнес-механизмы – целевые зеленые облигации, специализированные кредитные линии и формы смешанного финансирования. Дальнейшее возведение гигантов уровня таких гидроэлектростанций, как Саяно-Шушенская ГЭС или Богучанская ГЭС, в современных реалиях может опираться исключительно на классические макроэкономические модели.

Зато на развитие сектора позитивно влияет мировая нестабильность. Ученые установили прямую связь между ростом геополитических рисков и желанием правительств вкладывать средства в энергию воды. Когда страны сталкиваются с угрозой перебоев в поставках нефти или газа, генерация на реках становится гарантом национальной энергобезопасности. Вода – это внутренний ресурс, не зависящий от внешнеторговой конъюнктуры. На ранних этапах развития гидроэнергетики определяющую роль играет также качество государственных институтов. Снижение уровня коррупции и прозрачность регулирования дают зеленый свет капиталоемким стройкам.

Фундаментальное отличие гидроэнергетики от солнечной или ветровой генерации – тотальная зависимость от международных отношений. Если ветрогенератор можно поставить в чистом поле без оглядки на соседей, то строительство крупной станции часто затрагивает трансграничные водные артерии. Успех таких проектов напрямую зависит от политической кооперации. Стратегическое партнерство позволяет урегулировать споры о водопользовании, привлекать зарубежные инженерные кадры и совместно использовать выработанную энергию. Без активной дипломатии масштабные планы рискуют навсегда остаться на бумаге.

Могут ли гидроаккумулирующие электростанции удовлетворить растущий спрос ИИ на электроэнергию?¹⁵

Резкий рост спроса на электроэнергию со стороны отраслей, связанных с искусственным интеллектом, и гипермасштабных центров обработки данных вынуждает энергетические компании и политиков пересматривать подходы к обеспечению надежности энергосистем. В новом отраслевом докладе отмечается, что крупномасштабные гидроаккумулирующие электростанции, особенно расположенные на западе США, способны обеспечить длительное покрытие нагрузки и повысить устойчивость энергосистемы, что необходимо для поддержки следующего этапа развития цифровой инфраструктуры.

Искусственный интеллект трансформирует электроэнергетический сектор столь же стремительно, как и цифровую экономику. Стремительное расширение сети гипермасштабных центров обработки данных, развитие передовых производств полупроводниковой продукции и электрификация промышленных процессов формируют новую категорию спроса на электроэнергию – крупные концентрированные нагрузки, предъявляющие исключительно высокие требования к надежности энергоснабжения. Для энергетических компаний и операторов электрических сетей это создает задачи, выходящие за рамки простого наращивания генерирующих мощностей. Ключевой вопрос заключается в том, способны ли электроэнергетические системы обеспечивать надежное электроснабжение в необходимых объемах, в требуемых точках потребления и в установленные сроки

В новом докладе Национальной гидроэнергетической ассоциации (ННА) отмечается, что гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС/PSH) способны сыграть ключевую роль в решении данной задачи. В докладе «Победа в гонке ИИ: использование потенциала гидроаккумулирующих электростанций» отмечается, что в настоящее время в рамках процедуры лицензирования Федеральной комиссии по регулированию энергетики США (FERC) рассматриваются проекты ГАЭС совокупной установленной мощностью более 60 ГВт. Речь идет примерно о 80 проектах, реализуемых в различных регионах страны. Особого внимания заслуживает тот факт, что около 85 % этих проектов сосредоточено на западе США – в регионе, где, согласно прогнозам, ожидаются наиболее высокие темпы роста спроса на электроэнергию и планируется строительство зна-

¹⁵ Источник: Can pumped storage help meet AI's growing power demands? / <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/can-pumped-storage-help-meet-ais-growing-power-demands/> Опубликовано 11.06.2026

чительного числа новых центров обработки данных. Для разработчиков проектов и специалистов по планированию энергосистем совпадение районов формирования новых центров энергопотребления с районами размещения предлагаемых объектов накопления энергии подчеркивает потенциальную роль систем хранения энергии большой продолжительности действия в обеспечении следующего этапа развития и расширения электроэнергетической инфраструктуры.

Структурные вызовы для энергосистемы

Ожидается, что в течение следующего десятилетия на западе США произойдут одни из наиболее существенных изменений в структуре спроса на электроэнергию. Согласно докладу, потребление электроэнергии в энергосистеме Western Interconnection, по прогнозам, увеличится более чем на 20 %, главным образом за счет развития центров обработки данных, высокотехнологичных производств и дальнейшей электрификации различных секторов экономики. Одновременно в регионе планируется вывести из эксплуатации угольные, газовые и атомные электростанции совокупной установленной мощностью более 24 ГВт. Для операторов энергосистем сочетание стремительного роста спроса на электроэнергию и выбытия значительного объема традиционных генерирующих мощностей представляет собой серьезный структурный вызов с точки зрения обеспечения надежности электроснабжения.

Ожидается, что новые вводимые в эксплуатацию замещающие мощности будут представлены преимущественно генерирующими объектами на основе возобновляемых источников энергии с переменным профилем выработки, а также системами аккумуляторного хранения энергии кратковременного действия. Несмотря на их ключевую роль в реализации стратегий декарбонизации, эти ресурсы не способны в полной мере воспроизводить системные функции синхронных генерирующих установок, которые традиционно обеспечивали устойчивость и надежность функционирования электроэнергетических систем. Особую актуальность данная проблема приобретает для крупных центров обработки данных, обеспечивающих функционирование систем искусственного интеллекта. Такие объекты предъявляют исключительно высокие требования к качеству и надежности электроснабжения и практически не допускают продолжительных перерывов в подаче электроэнергии, а также существенных отклонений параметров напряжения и частоты от установленных нормативных значений.

В докладе Национальной гидроэнергетической ассоциации США отмечается, что гидроаккумулирующие электростанции способны непосредственно компенсировать снижение уровня системной надежности, возни-

кающее в процессе трансформации структуры генерации. Помимо обеспечения длительного хранения энергии, ГАЭС предоставляют ряд важнейших системных услуг, включая синхронную инерцию, регулирование и поддержание напряжения, а также возможность автономного восстановления работы энергосистемы после полного погашения (black start). Значимость этих услуг возрастает по мере вывода из эксплуатации традиционных синхронных генерирующих мощностей.

Масштабное хранение энергии большой продолжительности действия

В настоящее время ГАЭС являются в США доминирующей технологией накопления энергии большой продолжительности действия. Согласно докладу, на их долю приходится почти 90 % установленной мощности систем длительного хранения энергии, находящихся в эксплуатации в стране.

Хотя в течение последнего десятилетия аккумуляторные системы накопления энергии развивались высокими темпами, большинство таких установок способно обеспечивать отпуск электроэнергии лишь в течение нескольких часов. В отличие от них, ГАЭС, как правило, проектируются с расчетом на восемь и более часов непрерывной генерации, что позволяет компенсировать продолжительные периоды дисбаланса в энергосистеме.

Значимость данной функции возрастает по мере увеличения доли ветровой и солнечной генерации в структуре энергобаланса. Системы накопления энергии большой продолжительности действия позволяют операторам энергосистем перераспределять значительные объемы электроэнергии в рамках суточных и многосуточных циклов регулирования, сглаживать колебания выработки и спроса, а также сокращать масштабы вынужденного ограничения выработки электроэнергии.

ГАЭС также обладают уникальными системными свойствами, которые до настоящего времени трудно в полной мере воспроизвести с использованием других технологий накопления энергии. В частности, синхронная инерция остается неотъемлемой характеристикой вращающихся гидротурбин и электрогенераторов.

По мере увеличения доли возобновляемых источников энергии и сокращения парка традиционных синхронных генерирующих установок значение этой физической инерции для поддержания устойчивости и частотной стабильности энергосистемы продолжает возрастать.

Ограничения пропускной способности электрических сетей

Географическое распределение генерирующих мощностей также определяет роль ГАЭС в перспективном планировании развития энергосистем.

На западе США реализуется большое число проектов в области возобновляемой энергетики, преимущественно в удаленных районах, обладающих значительным потенциалом солнечной и ветровой генерации. Вместе с тем эти территории зачастую расположены на значительном удалении от крупных центров энергопотребления, таких как Финикс, Солт-Лейк-Сити и прибрежные мегаполисы Калифорнии.

Перегруженность линий электропередачи в основных передающих коридорах уже ограничивает возможности транспортировки относительно недорогой электроэнергии внутри региона. В докладе Национальной гидроэнергетической ассоциации США подчеркивается, что гидроаккумулирующие электростанции способны способствовать решению данной проблемы, выполняя одновременно функции накопления энергии и предоставления системных услуг по поддержанию надежности и устойчивости электрической сети

Если гидроаккумулирующие электростанции располагаются вблизи крупных центров энергопотребления, они могут функционировать как диспетчеризуемые генерирующие мощности, снижая зависимость от потоков электроэнергии из других районов энергосистемы по передающим коридорам с ограниченной пропускной способностью. В свою очередь, проекты, размещенные вблизи районов сосредоточения объектов возобновляемой энергетики, способны аккумулировать избыточную электроэнергию, которая в противном случае подлежала бы вынужденному ограничению выработки.

Фактически технология гидроаккумулирования позволяет повысить эффективность использования существующей передающей сети и ее эффективную пропускную способность без необходимости прохождения длительных процедур планирования, согласования и получения разрешений, связанных со строительством новой высоковольтной инфраструктуры. С учетом того, что реализация крупных проектов по строительству линий электропередачи в США нередко занимает десять и более лет, такая гибкость вызывает все больший интерес со стороны специалистов по перспективному планированию развития энергосистем и органов, формирующих энергетическую политику.

Барьеры на пути реализации проектов ГАЭС

Несмотря на значительный портфель проектов, находящихся на различных стадиях подготовки, в докладе отмечается, что в настоящее время в США не ведется строительство ни одной новой гидроаккумулирующей электростанции, хотя ряд проектов уже получил необходимые лицензии. По мнению разработчиков, основными препятствиями для реализации проектов являются не технические, а финансовые и регуляторные факторы. Проекты ГАЭС, как правило, характеризуются высокими первоначальными капитальными затратами и длительными сроками строительства. В условиях функционирования рынков электроэнергии, не обеспечивающих в полной мере возмещение затрат на услуги по длительному хранению энергии и обеспечению надежности энергосистемы, разработчикам зачастую сложно сформировать предсказуемую модель долгосрочных доходов.

В докладе подчеркивается, что действующие рыночные механизмы не учитывают в полной мере весь спектр системных услуг, предоставляемых гидроаккумулирующими электростанциями, включая обеспечение синхронной инерции, первичное регулирование частоты и возможность автономного восстановления работы энергосистемы после полного погашения (black start). Исторически эти функции обеспечивались традиционными синхронными генераторами, а существующие модели организации рынков электроэнергии не предусматривали их отдельного экономического вознаграждения. По мере вывода таких генерирующих мощностей из эксплуатации ценность указанных услуг возрастает, однако механизмы их коммерциализации и монетизации по-прежнему остаются недостаточно развитыми.

Совершенствование нормативно-правовой базы

В докладе содержится призыв к Федеральной комиссии по регулированию энергетики США принять меры по устранению существующих недостатков рыночного регулирования. Ранее комиссия уже предпринимала меры по адаптации рынков электроэнергии к внедрению новых технологий.

В соответствии с принятыми постановлениями операторы энергосистем были обязаны обеспечить интеграцию генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии с переменным профилем выработки, а впоследствии оптовые рынки электроэнергии были открыты для аккумуляторных систем накопления энергии.

По оценке Национальной гидроэнергетической ассоциации, технологии накопления энергии большой продолжительности действия, включая гидроаккумулирующие электростанции, в настоящее время достигли переломного момента в своем развитии.

В докладе высказывается предположение, что целенаправленные изменения нормативно-правовой базы могли бы способствовать совершенствованию моделей участия таких объектов в рынках электроэнергии, созданию механизмов вознаграждения за предоставление системных услуг, обеспечивающих устойчивость и надежность энергосистемы, а также пересмотру подходов к оценке и учету располагаемой мощности с учетом способности объектов обеспечивать выдачу мощности в течение продолжительных периодов времени.

Такие реформы не предполагают предоставления преимуществ какой-либо отдельной технологии, а направлены на создание равных конкурентных условий для различных решений в области накопления энергии большой продолжительности действия с учетом их вклада в обеспечение надежности и устойчивости энергосистемы.

Одним из наиболее показательных примеров является проект гидроаккумулирующей электростанции «Голдендейл» в округе Кликиат, штат Вашингтон. После ввода в эксплуатацию объект сможет обеспечивать до 1 200 МВт диспетчеризуемой мощности при продолжительности накопления энергии до 12 часов. Проект, реализуемый компаниями Rye Development и Copenhagen Infrastructure Partners, в 2026 г. получил 40-летнюю лицензию Федеральной комиссии по регулированию энергетики США.

Финансирование крупных инфраструктурных проектов

Помимо совершенствования нормативно-правовой базы, в докладе подчеркивается потенциальная роль федеральных финансовых инструментов в стимулировании развития гидроаккумулирующих электростанций. Одним из таких механизмов является программа кредитных гарантий «Раздел XVII» Министерства энергетики США, которая может обеспечить финансовую поддержку реализации крупных инфраструктурных проектов. В соответствии с недавними изменениями условий программы объекты инфраструктуры, способствующие повышению надежности энергосистемы, были прямо отнесены к категориям проектов, имеющих право на получение государственной поддержки.

Предоставление кредитных гарантий и механизмов распределения строительных рисков могло бы способствовать снижению финансовой нагрузки и инвестиционных рисков, связанных с многолетним циклом

строительства гидроаккумулирующих электростанций. В докладе также упоминается программа Министерства энергетики США «Партнерства по обеспечению устойчивости энергосистемы и инновациям» (GRIP), которая уже использовалась для поддержки технологий, направленных на повышение надежности и устойчивости электроэнергетической системы.

Благодаря финансированию в объеме свыше 10,5 млрд долл. США данная программа потенциально может способствовать развитию гидроаккумулирующих электростанций посредством внедрения механизмов стабилизации доходов на начальных этапах эксплуатации проектов. Такие меры способны повысить инвестиционную привлекательность проектов, обеспечивая разработчикам более устойчивые условия для обслуживания долговых обязательств в первые годы эксплуатации объектов.

Необходимость согласования политики

В конечном итоге в докладе гидроаккумулирующие электростанции рассматриваются как стратегический инфраструктурный ресурс формирующейся цифровой экономики. Центры обработки данных, работающие с применением технологий искусственного интеллекта, а также передовые производственные предприятия требуют непрерывного и высококачественного электроснабжения, и многие разработчики уже ориентируются на площадки с доступом к надежной электроэнергетической инфраструктуре.

Для политиков ключевая задача заключается в обеспечении достаточной скорости адаптации нормативно-правовой базы и рыночных механизмов в электроэнергетике, позволяющей поддерживать развитие и строительство крупных объектов, обеспечивающих надежность энергосистемы. Как отмечается в докладе, США уже вступили в этап, на котором мощности по выработке электроэнергии и инфраструктура хранения энергии оказывают прямое влияние на экономическую конкурентоспособность в сфере искусственного интеллекта и высокотехнологичных производств.

Если спрос со стороны секторов, связанных с искусственным интеллектом, будет сохранять текущую динамику роста, технологии накопления энергии большой продолжительности действия, включая гидроаккумулирующие электростанции, могут стать все более значимым компонентом планирования энергосистем, особенно в регионах, где одновременно наблюдаются активная интеграция возобновляемых источников энергии, ограниченная пропускная способность линий электропередачи и рост электрической нагрузки.

В отношении гидроэнергетики ключевой вопрос в настоящее время заключается не в способности данной технологии предоставлять необходимые системные услуги, а в том, смогут ли политические и рыночные механизмы, требуемые для поддержки дальнейшего развития, адаптироваться к темпам роста энергетических потребностей цифровой экономики.

Системы хранения энергии

Новая водяная батарея способна работать сотни лет¹⁶

Сотрудники Университета Гонконга и Южного университета науки и технологий в Китае разработали новый тип водяной батареи, способной выдержать до 120 000 циклов зарядки.

По расчётам исследователей, при использовании в энергосетях такой аккумулятор сможет проработать около 300 лет без серьёзной потери ёмкости. Вместо традиционных материалов исследователи использовали органические полимеры с жёсткой «сотовой» структурой.

Главным преимуществом стала нейтральная среда электролита с рН 7,0, которая предотвращает коррозию – одну из главных проблем водных аккумуляторов. Разработчики утверждают, что новый аккумулятор не содержит токсичных веществ и значительно безопаснее литий-ионных.

По словам авторов, электролит в этой батарее настолько безвреден, что его можно использовать даже как рассол для приготовления тофу в домашних условиях.

Несмотря на впечатляющий срок службы, технология пока столкнулась с ограничениями. Водяные батареи уступают литий-ионным по плотности энергии и занимают больше места.

¹⁶ Источник:

https://4pda.to/2026/05/17/456346/novaya_vodyanaya_batareya_sposobna_rabotat_sotni_let/ Опубликовано 17.05.2026

Новая твердотельная батарея достигла рекордной плотности энергии 451 Вт ч/кг¹⁷

Исследователи из Китайской академии наук разработали твердотельную литий-металлическую батарею с рекордными показателями. Её плотность энергии составляет 451,5 Вт ч/кг – более чем вдвое выше, чем у типичных литий-железо-фосфатных (LFP) аккумуляторов. При этом батарея сохранила 81,9% ёмкости после 700 циклов зарядки и разрядки в режиме, эквивалентном трёхминутным циклам.

Приоритетным направлением работы стало улучшение полимерных электролитов на основе поливинилиденфторида (ПВДФ). Этот материал считается перспективной основой для твердотельных батарей благодаря высокой химической стабильности и хорошей ионной проводимости. Однако традиционные добавки-пластификаторы на основе ПВДФ часто вызывают нежелательные побочные реакции и ухудшают совместимость с электродами.

Чтобы решить эту проблему, команда разработала стратегию с использованием временного летучего растворителя, который добавляют на этапе приготовления электролита. Он улучшает совместимость полимера со стабильными пластификаторами. Когда плёнка формируется, растворитель испаряется, а пластификатор остаётся надёжно запёртым внутри полимерной сетки.

Такой метод позволил сформировать защитный межфазный слой, обогащённый фторидом лития, который снижает побочные реакции на границах электродов и повышает стабильность системы. В качестве основного пластификатора использовался сульфолан, который дополнительно стабилизировал структуру электролита и ограничивал его миграцию во время работы батареи.

Ученые собрали ячейку в форм-факторе «пакет» (pouch cell), который используется в смартфонах и ноутбуках. В ней применили тонкий литий-металлический анод и оптимизированное соотношение материалов N/P = 1,1. Такая конфигурация позволила достичь плотности энергии 451,5 Вт·ч/кг – более чем вдвое выше типичных показателей LFP-аккумуляторов, применяемых в электромобилях. Дополнительно батарея прошла тест на прокол гвоздём, что подтвердило её надёжность.

¹⁷ Источник: <https://hightech.plus/2026/05/22/dva-preparata-snazili-riski-progressirovaniya-rakalegkih-na-65> Опубликовано 22.05.2026

Батарея проработала 700 циклов, сохранив 81,9% начальной ёмкости. При этом использовался высоконикелевый катод с напряжением 4,7 В и экстремальный режим зарядки 20 °С, который соответствует току, позволяющему полностью зарядить аккумулятор примерно за три минуты.

Исследователи считают, что полученные результаты могут ускорить коммерциализацию твердотельных аккумуляторов и приблизить появление систем с ещё более высокой плотностью энергии и быстрой зарядкой. Китайские разработчики уже нацелены на создание коммерческих твердотельных батарей ёмкостью от 400 до 500 Вт·ч/кг в 2026–2027 годах, параллельно продолжая работу над литий-металлическими и полутвердотельными технологиями.

Молекулярная солнечная батарея накапливает солнечную энергию и хранит её годами¹⁸

Исследователи Калифорнийского университета в Санта-Барбаре разработали материал, способный поглощать солнечный свет, удерживать накопленную энергию в химических связях и высвободить её в виде тепла по запросу – спустя часы или даже годы. Работа опубликована в журнале Science.

В основе разработки – модифицированная органическая молекула пиримидон, вдохновлённая структурой ДНК: схожий фрагмент естественным образом присутствует в ДНК и обратимо меняет форму под воздействием ультрафиолета. Учёные создали синтетический аналог и научили его многократно запасать и отдавать энергию. Принцип работы авторы сравнивают с фотохромными очками-хамелеонами: только вместо смены цвета молекула переходит в высокоэнергетическое напряжённое состояние и удерживает его до момента активации.

Высвободить запасённое тепло можно с помощью небольшого внешнего импульса – нагрева или катализатора: молекула возвращается в исходную форму, отдавая энергию. После этого цикл можно повторять снова. Компьютерное моделирование, выполненное совместно с коллегами из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, объяснило, почему

¹⁸ Источник: <https://ecosphere.press/2026/05/26/molekulyarnaya-solnechnaya-batareya-nakaplivaet-solnechnuyu-energiyu-i-hranit-eyo-godami/> Опубликовано 26.05.2026

молекула сохраняет стабильность при длительном хранении энергии без значительных потерь.

Плотность запасаемой энергии – более 1,6 МДж/кг – превышает показатели традиционных литий-ионных аккумуляторов (около 0,9 МДж/кг). В экспериментах авторам удалось добиться практически значимого результата: высвобождённого тепла хватило для кипячения воды в обычных атмосферных условиях – задача, которую прежним разработкам в области молекулярного солнечного хранения решить не удавалось.

Поскольку вещество растворяется в воде, исследователи предполагают возможную схему применения: жидкость циркулирует через кровельные солнечные коллекторы в течение дня, затем закачивается в накопительные ёмкости и отдаёт тепло ночью – без громоздких электрических аккумуляторов и без подключения к сети.

Технология относится к классу MOST (Molecular Solar Thermal) – молекулярного солнечно-термального хранения энергии. Это перспективное, но пока лабораторное направление: до практического применения предстоит решить вопросы масштабирования производства молекулы и долгосрочной стабильности в реальных условиях эксплуатации. Тем не менее продемонстрированные характеристики делают разработку одним из наиболее убедительных результатов в этой области на сегодняшний день.

Кальций помог физикам в 10 000 раз увеличить ионную проводимость хлора для мощных батарей из обычной морской воды¹⁹

Международной команде исследователей из Швейцарии, Канады и США удалось увеличить подвижность ионов хлора в твёрдом материале до 10 000 раз. Это открывает путь к созданию твердотельных хлорид-ионных аккумуляторов, которые потенциально можно производить из сырья, получаемого прямо из морской воды.

Сегодня рынок аккумуляторов практически полностью опирается на литий-ионные технологии. Однако у лития есть очевидные ограничения –

¹⁹ Источник: <https://www.ixbt.com/news/2026/06/07/litievye-batarei--proshlyj-vek-kalcij-pomog-fizikam-v-10000-raz-uvlichit-ionnuju-provodimost-hlora-dlja-moshnyh.html> Опубликовано 7.06.2026

ограниченная сырьевая база, рост стоимости и зависимость от отдельных регионов добычи. На этом фоне хлорид-ионные системы рассматриваются как возможная альтернатива, особенно для крупных стационарных накопителей энергии, например, для солнечных и ветровых электростанций. Главная проблема таких систем заключалась в том, что ионы хлора слишком медленно перемещаются через твёрдые материалы, что резко снижало эффективность батарей.

Решение нашли через изменение структуры электролита на основе оксихлорида лантана. Учёные применили легирование – добавление небольших количеств других элементов в кристаллическую решётку. Наилучший результат показал кальций: он увеличил ионную проводимость хлора до 10 000 раз. При этом структура материала стала более «гибкой» на атомном уровне, а внутри кристаллической решётки сформировались более свободные каналы для движения ионов.

Чтобы понять механизм происходящего, исследователи использовали синхротронное излучение на установке Canadian Light Source в Канаде. Это позволило наблюдать изменения в структуре материала практически на атомном уровне и подтвердить природу эффекта.

Авторы подчёркивают, что речь пока идёт не о готовой батарее, а о новой платформе твёрдого электролита. По словам профессора ETH Zurich Сарбаджита Банерджи, цель работы – не заменить литий-ионные технологии, а дополнить их альтернативными решениями для будущей энергетики, где потребуется колоссальный объём систем накопления энергии.

Южнокорейские ученые продлили срок службы водных аккумуляторов с помощью нанодобавки²⁰

Исследователи из Университета Сонгюнган в Южной Корее разработали новую технологию для водных аккумуляторов, которая позволяет значительно увеличить срок их службы и повысить эффективность работы. Результаты исследования опубликованы в журнале Nano-Micro Letters.

Водные аккумуляторы считаются одной из наиболее перспективных альтернатив литий-ионным батареям для стационарных систем хранения энергии. Они дешевле в производстве, используют более доступные мате-

²⁰ Источник: <https://nia.eco/2026/06/11/115335/> Опубликовано 11.06.2026

риалы и обладают повышенной пожаробезопасностью благодаря применению электролитов на водной основе.

Однако широкому распространению таких накопителей до сих пор мешала проблема деградации цинковых электродов. Во время многократных циклов зарядки и разрядки на поверхности металла формируются неравномерные отложения, что снижает эффективность аккумулятора и сокращает срок его эксплуатации.

Для решения этой задачи южнокорейские ученые использовали специальную цвиттерионную добавку, которая вводится непосредственно в электролит. После добавления вещества в растворе самопроизвольно формируются наноструктуры размером менее четырех нанометров.

Как показали испытания, эти структуры выполняют сразу две функции. Они обеспечивают более равномерное осаждение цинка на электродах и одновременно создают защитный слой, препятствующий коррозии и нежелательным химическим реакциям между металлом и водой.

По данным авторов исследования, применение новой добавки позволило обеспечить стабильную работу аккумулятора на протяжении более 2800 часов. Кроме того, система продемонстрировала один из лучших показателей емкости среди известных водных аккумуляторов данного класса.

Разработчики отмечают, что главным преимуществом технологии является простота внедрения. Для повышения характеристик батареи не требуется использование дорогостоящих материалов или изменение конструкции накопителя – достаточно небольшого количества специальной добавки в электролите.

По мнению ученых, технология может найти применение в крупных системах накопления энергии, используемых для интеграции возобновляемых источников энергии, а также для обеспечения работы дата-центров и цифровой инфраструктуры, потребности которых в электроэнергии продолжают расти.

Эксперты отмечают, что развитие безопасных и долговечных накопителей энергии остается одной из ключевых задач мировой энергетики. Решение этой проблемы напрямую связано с расширением использования возобновляемых источников энергии и повышением устойчивости энергосистем.

Лёд и гравитация. Технологии длительного хранения энергии²¹

Лёд поглощает 334 Дж/г при таянии, 1 кВт ч энергии кондиционера – это 10,8 кг льда. Таким образом, 1 м³ льда «хранит» 92,8 кВт ч. Для сравнения, массив аккумуляторов такой ёмкости обойдётся минимум в \$10 тыс.

«Солнечный бум» последнего десятилетия слабо ощущается в РФ, но хорошо заметен в США, Европе и Китае, где строят гигантские солнечные фермы на тысячи гектаров. На потребительском рынке тоже ажиотаж, ведь в солнечных широтах можно полностью обеспечивать дом электроэнергией, если покрыть крышу солнечными панелями. И даже на зарядку автомобиля хватит, если крыша большая.

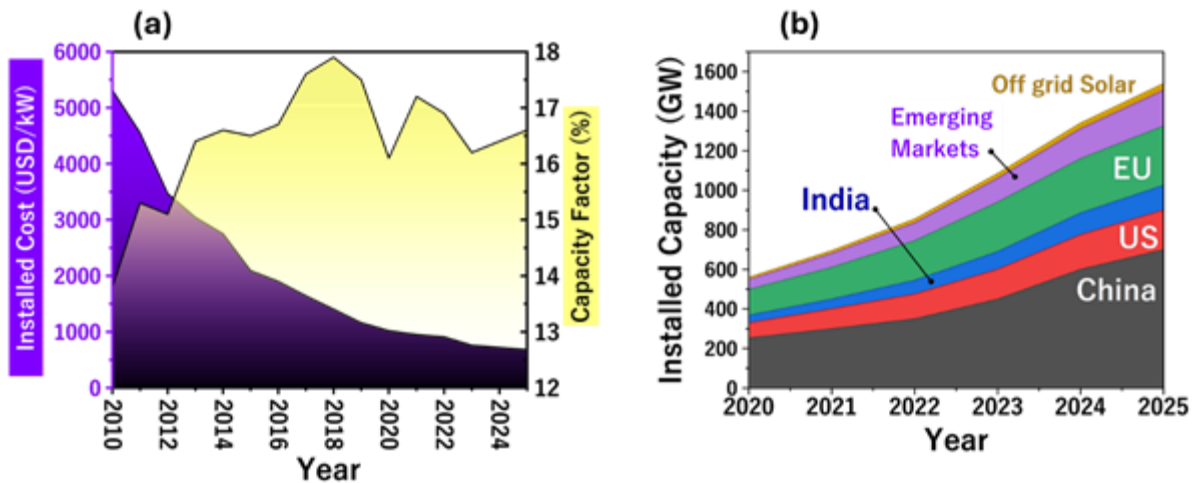
Самый важный вопрос – как хранить энергию, накопленную в солнечное время, чтобы выдавать её зимой, когда солнца мало.

Обычные литий-ионные аккумуляторы – слишком дорогое решение, хотя цены на них упали в десять раз с 2010 года. Но всё равно есть варианты дешевле и эффективнее, включая солевой расплав, сжатый воздух, гравитацию и лёд.

Несмотря на быстрый прогресс в развёртывании солнечных фотоэлектрических систем по всему миру, возникли несколько проблем, требующих инновационных решений. Актуальной проблемой стала перегрузка сети, поскольку инфраструктура не успевает за ростом числа солнечных установок. Требуется модернизация сети и внедрение гибридных систем возобновляемой энергетики, в том числе с новыми технологиями длительного хранения энергии.

Есть много способов длительного хранения энергии: от химических и тепловых аккумуляторов до маховиков и сжатого воздуха.

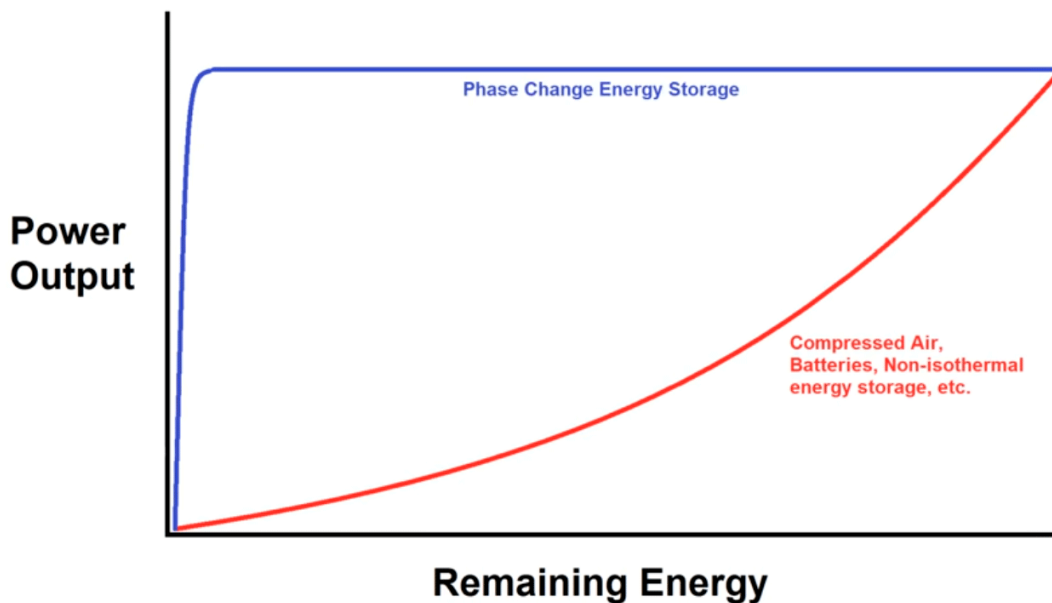
²¹ Источник: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/1039066/> Опубликовано 8.06.2026



Глобальные средневзвешенные показатели солнечной фотоэлектрической энергии с 2010 по 2025 год, включая общую установленную стоимость (USD/кВт), КПД (%) и LCOE (USD/кВт ч), а также ввод новых мощностей

Тепловые аккумуляторы

Накопители тепловой энергии (теплоаккумулирующие системы) – очень эффективный подход, потому что при фазовом переходе высвобождение энергии более стабильно, чем в химических батареях:



Также можно выбрать из широкого спектра материалов: камни, соль, вода и др. Для хранения энергии эти материалы нужно либо нагревать, либо охлаждать. Здесь выбор в основном зависит от того, как мы хотим использовать эту энергию в будущем.

Солевой расплав

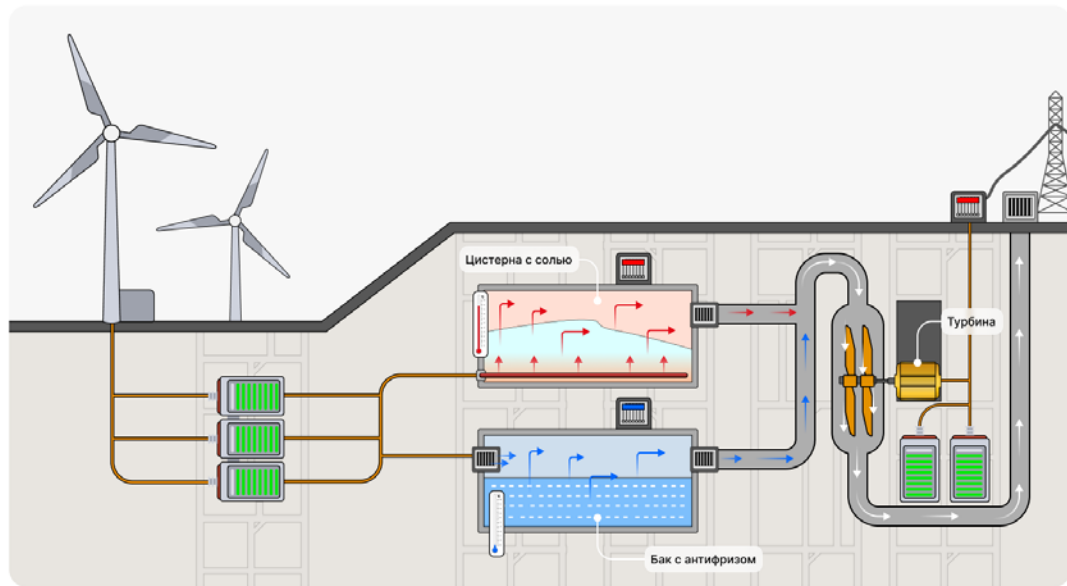
Солевой расплав (термическая соль) – это жидкая смесь неорганических солей (например, нитратов натрия и калия), которая используется для эффективной передачи и масштабного накопления тепловой энергии.



В гелиоконцентраторах зеркала концентрируют солнечные лучи на солнечной печи, в которой происходит расплав соли

Например, в стартапе Malta (был в составе Alphabet) разработали такую систему: две цистерны с солью и две – с недорогим антифризом. Сначала с помощью теплового насоса нагревают соль, запасая в ней тепло. Когда нужна энергия, соль соединяют с холодным антифризом: тёплый и холодный воздух сталкиваются, образуя поток ветра, который вращает турбину.

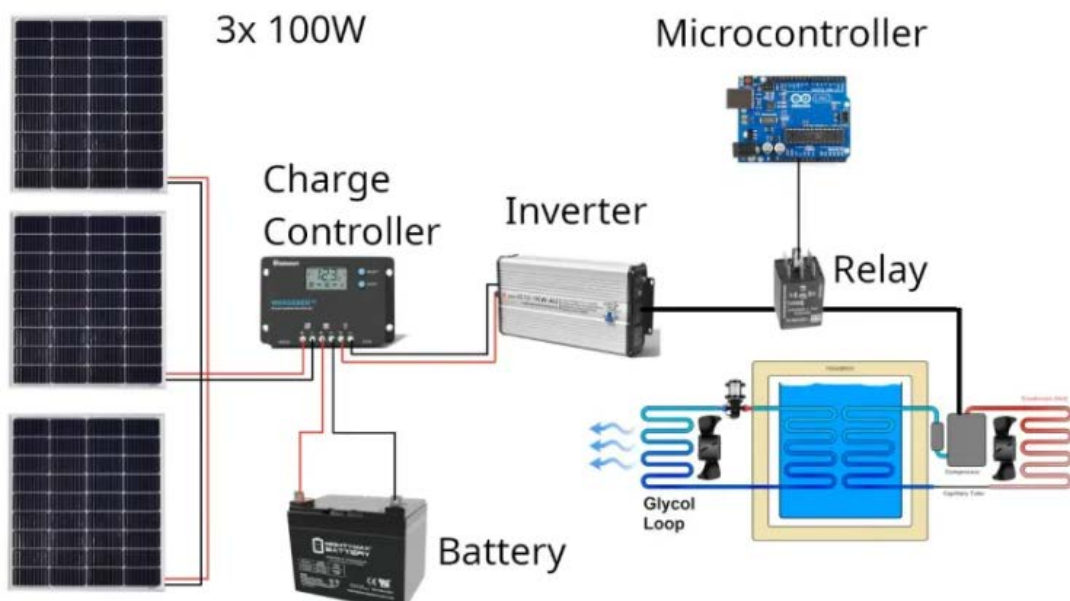
Выработка энергии с помощью соли и антифриза



Хранение энергии в виде льда

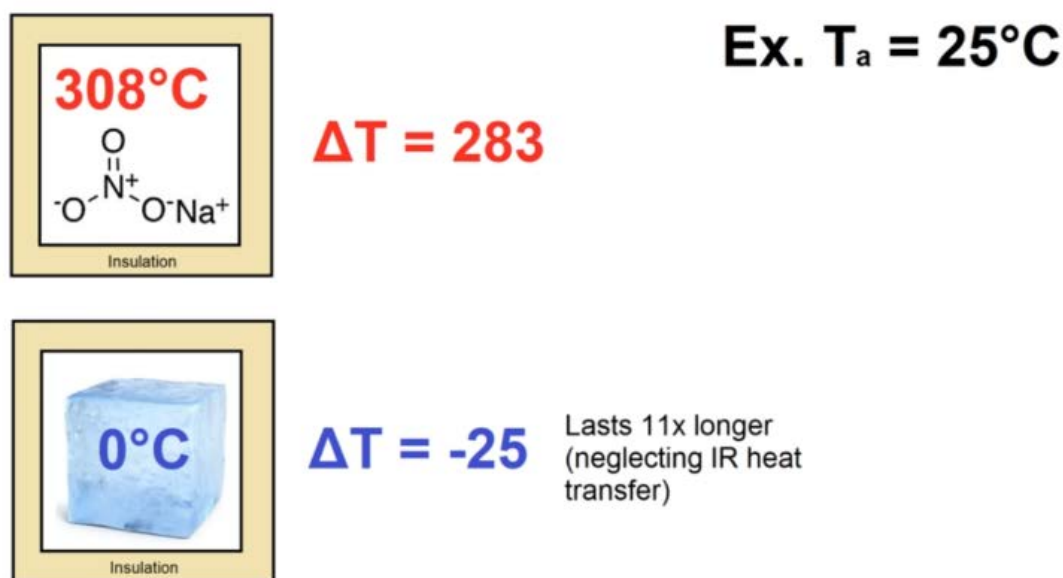
Автор YouTube-канала @HyperspacePirate своими руками собрал установку с аккумулятором энергии в водяном льду. Такой накопитель лучше всего подходит для воздушного кондиционирования, систем охлаждения, холодильников.

На самом деле кондиционер – это один из самых распространённых приборов в домашней энергосети, а для него лёд хорошо подходит.



Солнечная энергия от фотоэлектрических панелей заряжает аккумулятор до полного заряда. Затем микроконтроллер запускает реле на инверторе переменного тока, который запускает компрессор охлаждения в резервуаре с водой. Это приводит к фазовому переходу воды из жидкого состояния в лёд. Впоследствии таяние льда позволит извлечь тепловую энергию из окружающего воздуха и тем самым обеспечить охлаждение.

Лёд как носитель для хранения энергии предпочтительнее солевого расплава, ещё и потому, что здесь разница с окружающей средой гораздо меньше. Соответственно, меньше затраты на поддержание температуры, то есть на хранение этого носителя тепловой энергии:



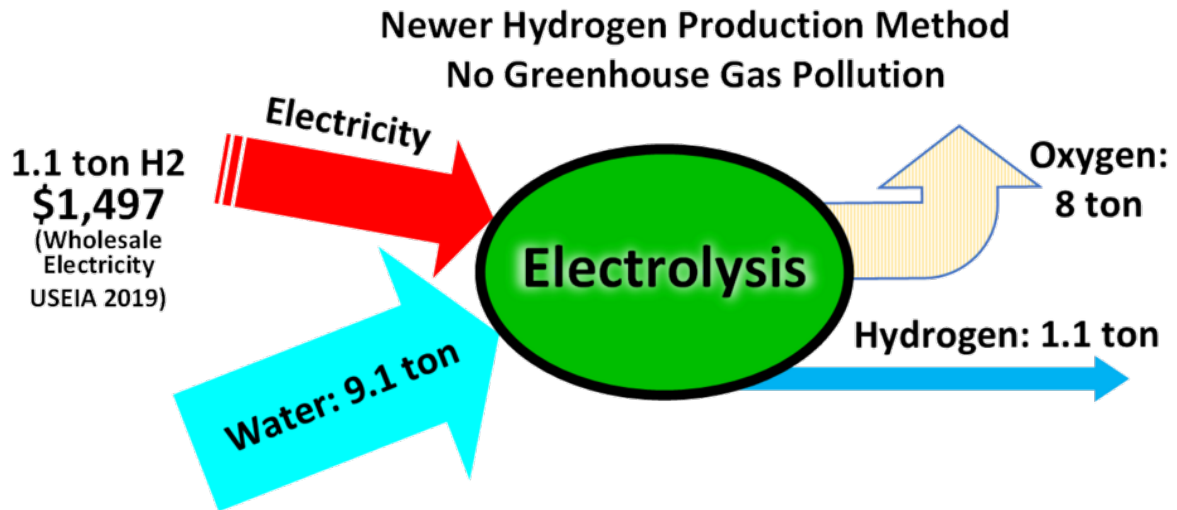
«Зелёный» водород

Это довольно стандартный и хорошо известный способ хранения энергии, когда запускается электролиз воды с разделением на водород и кислород.

Вода присутствует абсолютно везде, даже на Марсе, так что такую систему можно запускать в любых условиях. Нужны только баллоны для хранения сжатого водорода под давлением, что немного опасно и затрудняет строительство установки своими руками.

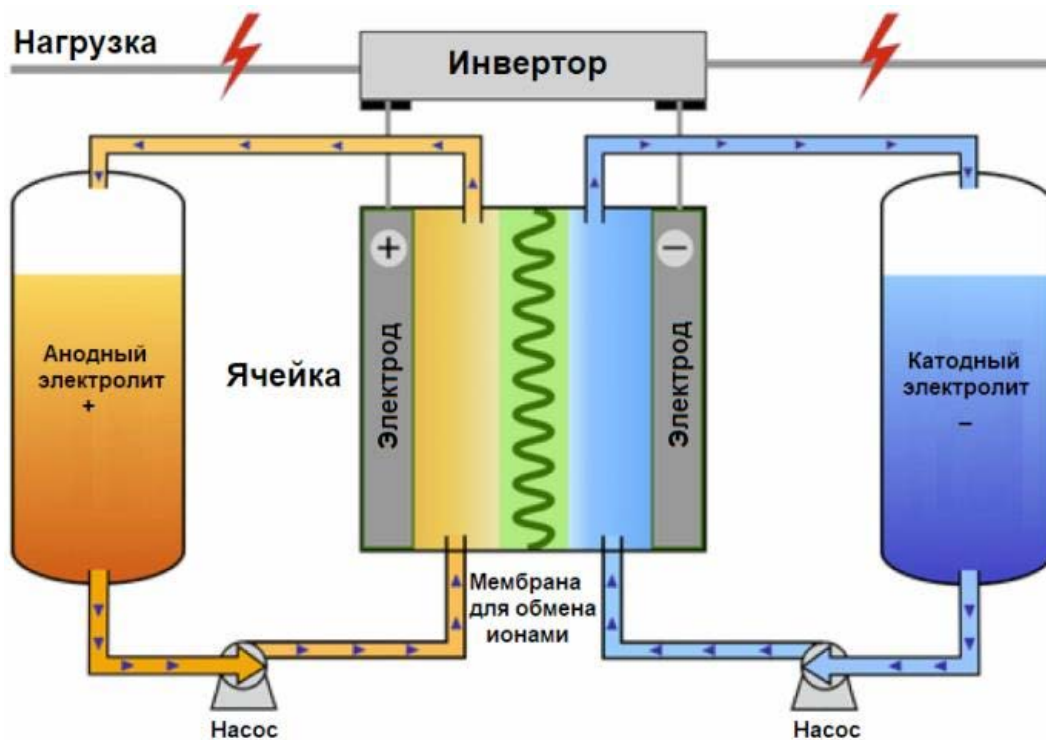
Для последующего освобождения энергии водород сжигают (окисляют) в кислородсодержащей среде (воздухе), в результате чего снова образуется вода.

Электролиз подходит, в том числе, для очистки морской воды от соли.



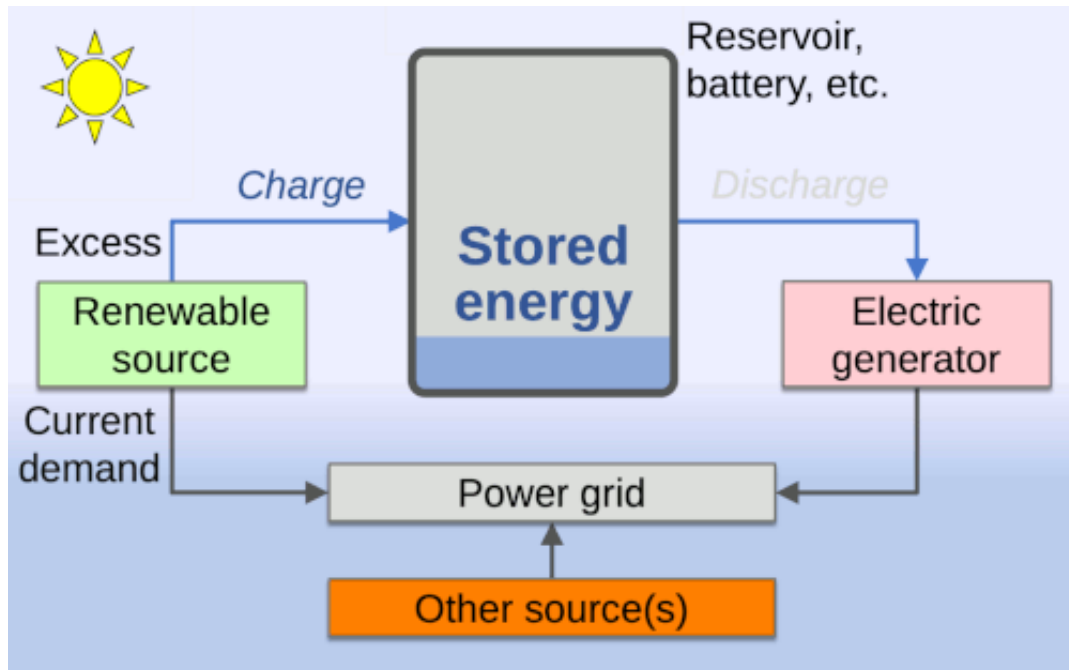
Проточные аккумуляторы

Проточные аккумуляторы (редокс-батареи) – это промышленные накопители энергии, где электричество запасается в жидких электролитах, циркулирующих через электрохимический блок.



Сжатый воздух

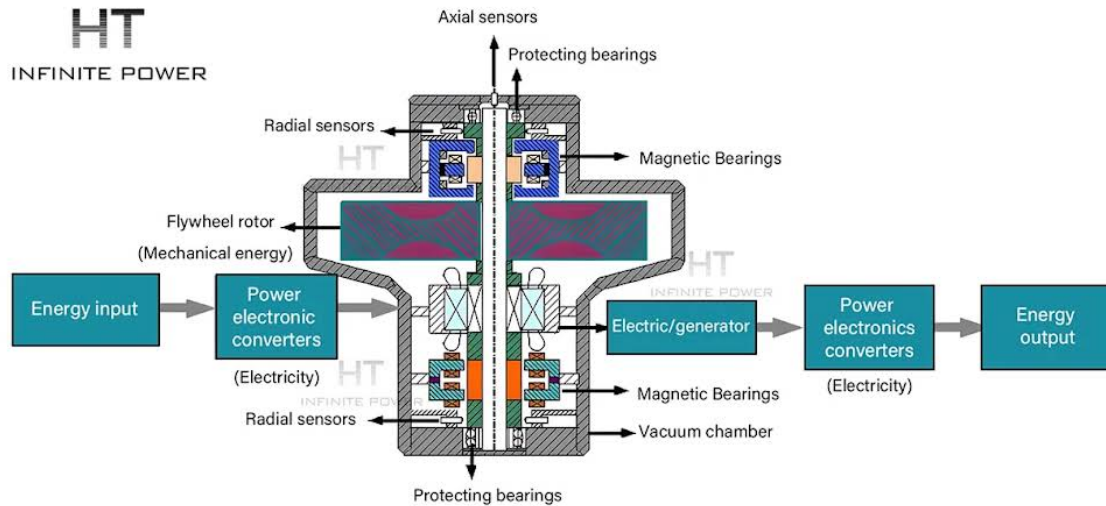
Хранение энергии на сжатом воздухе (CAES, Compressed-Air Energy Storage) – это технология крупномасштабного аккумулирования, при которой избыточная электроэнергия используется для сжатия воздуха. В часы пикового спроса воздух высвобождается, нагревается и вращает турбины для выработки электричества.



Маховики

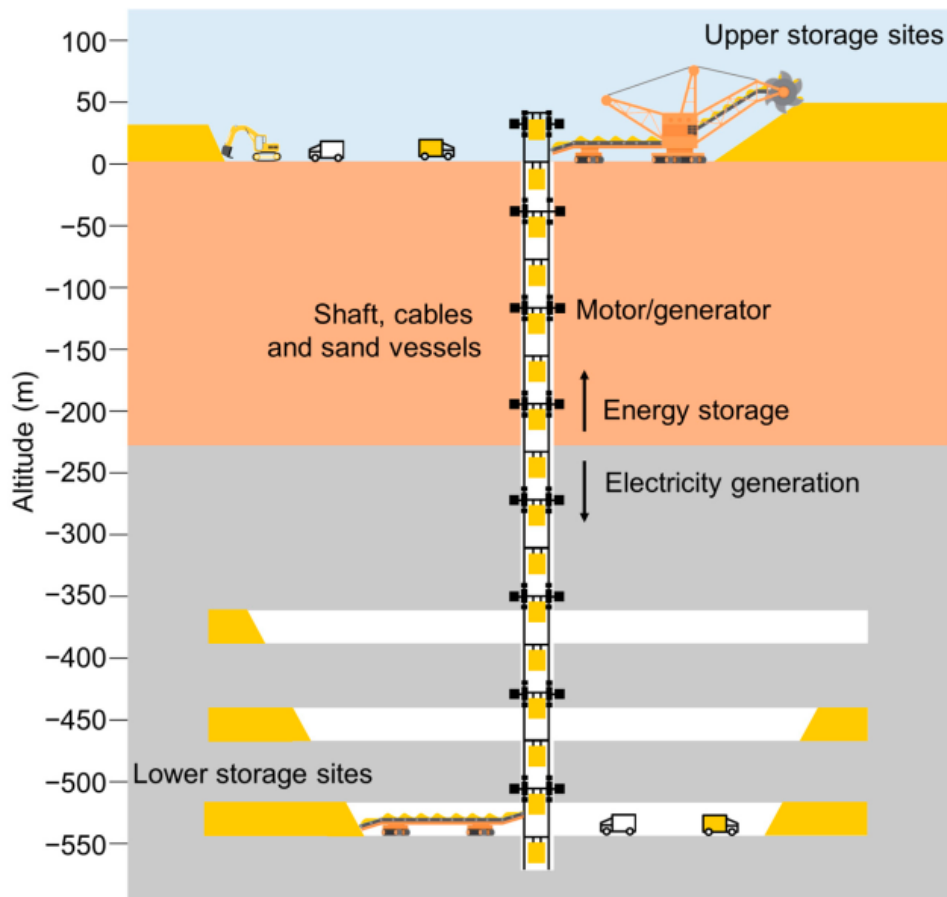
Маховичный накопитель энергии (Flywheel energy storage, FES) – накопитель механической энергии, в котором энергия накапливается и сохраняется в виде кинетической энергии вращающегося маховика.

Накопитель на основе супермаховика обладает одним из самых высоких удельных мощностных показателей среди существующих накопителей энергии.



Гравитационное хранилище

В 2023 году группа исследователей из разных стран опубликовала научную статью с описанием, как использовать заброшенные шахты в качестве гравитационного хранилища энергии.



Контейнеры с песком опускаются в ствол шахты. В момент погружения кабель вращает роторы, которые запускают генераторы. Когда энергия в избытке, её тратят на поднятие груза

По расчётам учёных, шахта глубиной 1 км с использованием 40 млн тонн песка способна произвести 200 МВт·ч, а после этого может работать как аккумулятор.

Сравнение стоимости

В научной статье 2025 года сравнивается экономическая эффективность разных методов хранения энергии по показателю LCOE (levelized cost of electricity), то есть усреднённой стоимости итогового электричества:

Технология	Ключевые особенности	Оптимальное применение	Цена
Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС)	Гравитация перемещает воду между резервуарами	Долгосрочное хранение, балансировка сети	\$165
Литий-ионные батареи	Высокая энергетическая плотность, быстрая реакция, масштабируемость	Краткосрочное и среднесрочное хранение, сглаживание пиковых нагрузок	\$115
Проточные батареи	Отдельное масштабирование энергии и мощности, долгий срок службы	Среднесрочное хранение энергии, интеграция возобновляемых источников	\$160
Системы накопления энергии сжатым воздухом (CAES)	Сжимает воздух в подземных хранилищах	Средне- и долгосрочное хранение, большой масштаб	\$293
Тепловое хранилище	Хранит тепло или холод для последующего преобразования в электричество	Долгосрочное хранение, промышленное или локальное использование	\$232

Технология	Ключевые особенности	Оптимальное применение	Цена
Хранение в виде водорода	Преобразует электричество в водород с помощью электролиза для долгосрочного хранения	Сезонное хранение, «зелёный» водород	\$4,8–19
Хранилище на основе маховиков	Хранит кинетическую энергию во вращающихся массах	Регулирование частоты, короткие импульсы мощности	\$400–900
Суперконденсаторы	Быстрая зарядка/разрядка, высокая плотность мощности	Поддержка напряжения, контроль частоты	\$337
Гравитационное хранилище	Тяжёлые грузы поднимаются избыточной энергией и опускаются для генерации	Долгосрочное хранение, низкая деградация, новая технология	\$0,12–0,25

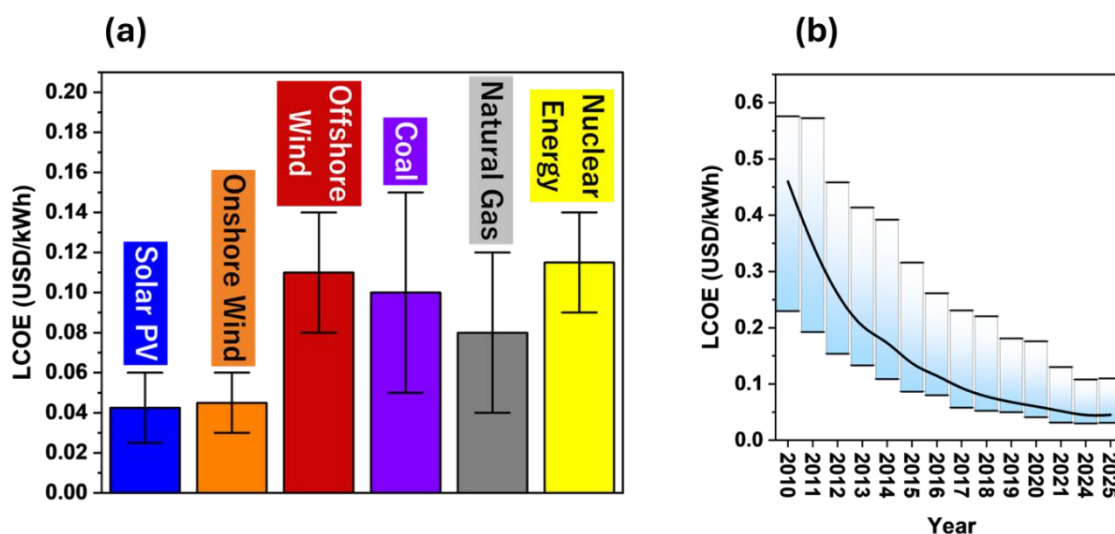
Источники информации: отчёт Battery Energy Storage Systems Report от Министерства энергетики США, база Energy Storage Cost and Performance Database и презентация Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA). Цены для всех указаны за 1 кВт ч на 2025 год, только суперконденсаторы – прогноз на 2030 год.

Как видим, среди всех способов длительного хранения энергии сильно выделяется гравитационное хранилище, которое значительно дешевле всех остальных: всего лишь \$0,12–0,25 за 1 кВт•ч генерации. Возможно, в этом расчёте учтена «бесплатная» энергия, которую мы получаем на этапе ввода в эксплуатацию аккумулятора, когда погружаем грузы на дно шахты.

Будущее энергетики

Солнечная энергетика – это уже не какой-то малозначительный источник «альтернативной энергии», к которому раньше относились немного снисходительно. В докладе IRENA говорится, что это «основа мировой

энергетической системы». Может это преувеличение, а может и взгляд в будущее.

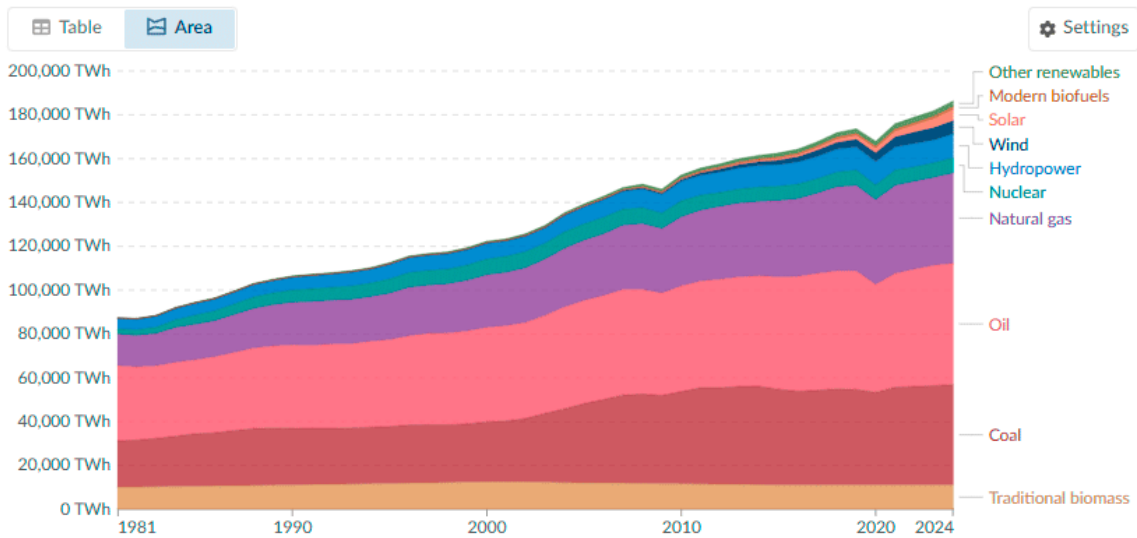


Сравнение LCOE различных источников энергии в 2025 году.
Стоимость солнечной энергии с 2010 по 2025 гг снизилась
с \$0,46 до \$0,045 за кВт ч, IRENA

Коммерческие солнечные модули регулярно показывают КПД выше 22%, а модели высшего класса – 24–25% при оптимальных условиях. В то же время затраты значительно снизились – с 2020 года цены на инверторы упали на 40%, а на системы отслеживания – на 35%. Усовершенствованные практики эксплуатации и использование алгоритмов предиктивного обслуживания дополнительно снизили текущие затраты на 15–20%.

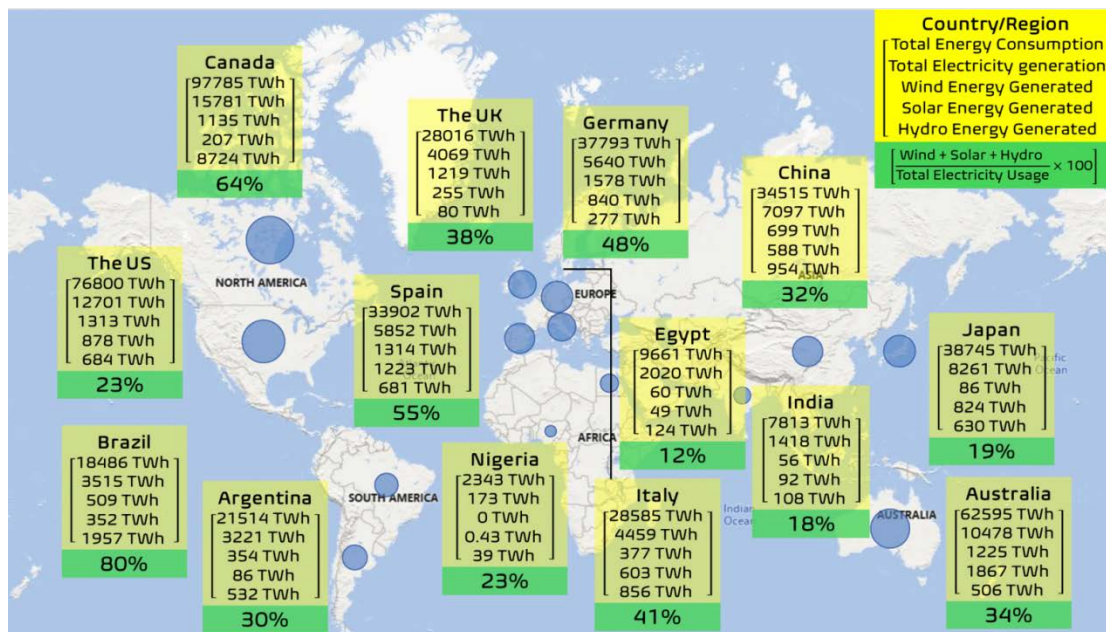
В регионах Солнечного пояса (Ближний Восток, Индия, Чили) минимальный LCOE – от \$0,018 до \$0,03 за кВт•ч благодаря исключительно высоким уровням инсоляции, превышающим 2200 кВт•ч/м² в год. В регионах с умеренным климатом (Северная Европа, Северо-Запад США и Япония) LCOE обычно в диапазоне от \$0,04 до \$0,08 за кВт•ч из-за более низкой инсоляции (900–1300 кВт•ч/м² в год). Себестоимость солнечной энергии упала до такого уровня, что сейчас это самый выгодный источник энергии не только на южных широтах, но даже в Великобритании.

Теоретически, доля угля, нефти и газа в мировой энергетике должна сокращаться. Но по факту их потребление в абсолютных цифрах растёт и ставит новые рекорды с каждым годом. Парадокс:



*Альтернативная энергетика не успевает за мировой экономикой, поэтому растёт потребление угля, нефти и газа.
Источник: Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2025)*

Тем не менее, во многих странах действуют программы по постепенному отказу от ископаемого топлива, что даёт результат:



Потребление и выработка электроэнергии на душу населения в крупных экономиках мира, с указанием доли ветровой, солнечной и гидроэнергии в общем потреблении

К 2025 году гибридные солнечно-аккумуляторные установки стали стандартом в новых проектах, обеспечивая стабильную мощность, регулирование частоты и повышенную устойчивость сети. Но кроме литий-ионных технологий, постепенно внедряются и новые технологии хранения. Исследователи, инженеры и производители должны совместно работать, чтобы превратить лабораторные открытия в масштабируемые, коммерчески жизнеспособные решения.

Инновационные решения в энергетике

В Китае создали первую в мире топливную ячейку на угле – она даёт электричество без дыма, пара и генераторов²²

Мир ещё не освоил водородные топливные ячейки, а китайские учёные пошли дальше и создали угольные топливные ячейки. В них загружается угольная пыль, а на выходе снимается электрический ток. Всё это – без традиционного сжигания, дыма и копоти. Но самое поразительное – эта технология позволяет превращать уголь в электричество прямо в подземных пластах, без подъёма на поверхность. В электричество можно превратить даже самые нерентабельные месторождения.

Речь идёт об элементе ZC-DCFC – топливной ячейке прямого окисления угля с нулевым выбросом углерода. Технологию разработала команда под руководством академика Се Хэпина из Шэньчжэньского университета. Ещё раз подчеркнём: установка позволяет получать электричество непосредственно из угля без процесса горения, что кардинально отличает её от традиционных угольных электростанций. Разработка ведётся с 2018 года и входит в состав национального мегапроекта по освоению глубоких недр планеты.

Принцип работы новой топливной ячейки основан на электрохимическом окислении. Уголь предварительно измельчают, сушат, очищают и подвергают поверхностной обработке, после чего подают в анодную камеру. На катод подаётся кислород. Внутри анодной камеры мелкий угольный порошок подвергается электрохимическому окислению – туда через оксидную мембрану поступают ионы кислорода, что ведёт к непосредственной выработке электроэнергии – без какого-либо промежуточного парового цикла с использованием механических турбин, как это обычно устроено на угольных электростанциях.

Образующийся в процессе химических реакций высококонцентрированный диоксид углерода сразу улавливается и в присутствии катализаторов перерабатывается в полезные химические продукты, такие как синтетическое топливо или карбонат натрия. Таким образом, технология полностью исключает выбросы углекислого газа в атмосферу.

²² Источник: <https://3dnews.ru/1140818/v-kitae-sozdali-pervuyu-v-mire-toplivnuyu-yacheyku-na-ugle-ona-dayot-elektrichestvo-bez-dima-para-i-generatorov> Опубликовано 28.04.2026

Главное преимущество ZC-DCFC – это преодоление ограничения цикла Карно, из-за которого КПД обычных угольных станций не превышает 40 %. Новая ячейка обеспечивает существенно более высокий теоретический КПД, работает бесшумно и не требует паровых турбин. Кроме того, технологию можно применять непосредственно к глубоким залежам угольных пластов (до 2 км), что позволит генерировать электроэнергию на месте без дорогостоящей добычи и транспортировки угля на поверхность.

Несмотря на необычные перспективы, технология пока остаётся на стадии лабораторных испытаний. По оценкам экспертов, её коммерческое применение и конкурентоспособность вряд ли станут возможны раньше 2045 года. В настоящее время уголь по-прежнему обеспечивает около 60% выработки электроэнергии в Китае за счёт обычного сжигания. Тем не менее разработка рассматривается как важный шаг на пути к углеродной нейтральности страны к 2060 году и как способ рационального использования глубоких угольных залежей.

Ученые нашли быстрый и экологичный способ переработки литий-ионных батарей²³

Исследователи из Университета Райса использовали водный раствор гидроксилamina гидрохлорида (HACl) для переработки литий-ионных батарей. Метод работает при комнатной температуре.

Сотрудники Университета Райса разработали новый метод переработки литий-ионных аккумуляторов. Традиционные способы требуют больших объёмов агрессивных кислот, высоких температур и длительного времени обработки. Учёные использовали водный раствор гидроксилamina гидрохлорида. Этот агент работает при комнатной температуре и демонстрирует высокую скорость реакции.

За одну минуту раствор извлекает около 65% ключевых металлов из отработанных катодов. При небольшом увеличении времени эффективность для ряда металлов превышает 75%. Аминохлориды сочетают свойства кислот, наличие хлорид-ионов для ускорения реакций и активный окислительно-восстановительный азотный центр. Это позволяет эффективно растворять металлы без недостатков классических органических растворителей.

²³ Источник: <https://hightech.fm/2026/04/28/green-recycle-lithium> Опубликовано 28.04.2026

Новый подход не требует высоких температур и значительных энергозатрат. Он снижает образование опасных отходов и упрощает дальнейшую переработку растворов. Процесс безопаснее для окружающей среды и персонала, легче масштабируется для промышленного применения.

Разработка может смягчить проблемы в цепочках поставок лития, кобальта, никеля и других металлов. Быстрый и «зелёный» метод переработки открывает перспективы для экономики замкнутого цикла в отрасли электромобилей и накопителей энергии.

Учёные нашли перспективные материалы для электроники и батарей, просто прерывая известные процессы²⁴

Исследователи из Университета Уорика и Университета Бирмингема по-новому взглянули на хорошо известные реакции по синтезу тех или иных материалов. Они предположили, что если реакции прервать до получения известного результата, то может получиться материал с ранее неизвестными свойствами, и не исключено, что эти свойства окажутся уникальными и востребованными промышленностью. Они не ошиблись – это сработало.

В частности, учёные изучали процесс получения ранее неизвестной стабильной формы ванадата висмута (BiVO_4). В процессе нагрева исходных веществ получается материал с широкой запрещённой зоной, чьи свойства интересны в качестве катализаторов для производства синтетического топлива и аккумуляторов. Учёные решили не доводить процесс до конца и остановили нагрев значительно раньше. В ходе экспериментов им удалось выделить новую стабильную форму соединения – $\beta\text{-BiVO}_4$.

Выяснилось, что, в отличие от известных модификаций BiVO_4 , полученная модификация обладает значительно более широкой запрещённой зоной. Благодаря этому материал по-иному взаимодействует со светом, что открывает возможности для точной настройки его оптических и каталитических свойств. BiVO_4 традиционно считается перспективным фотоанодом для синтеза «солнечного» топлива: он эффективно поглощает видимый свет и обеспечивает достаточную энергию для реакции расщепления воды с получением водорода. Тем самым новая β -фаза, очевидным, но пока не

²⁴ Источник: <https://3dnews.ru/1141007/uchyonie-nashli-perspektivnie-materiali-dlya-elektroniki-i-batarey-prosto-prerivaya-izvestnie-protsessi> Опубликовано 1.05.2026

до конца понятным образом, расширяет диапазон настраиваемых параметров для фотоэлектрохимических систем.

Исследователи назвали свой подход поиском промежуточных материалов. Они доказали, что такие материалы могут обладать даже более ценными свойствами, чем те, которые получились бы при доведении реакций до завершения. Авторы подчёркивают, что, контролируя условия нагрева, химию прекурсоров и процесс распада, можно целенаправленно получать ранее неизвестные фазы известных материалов. Такой подход принципиально отличается от классического синтеза и открывает новый путь к созданию материалов для солнечной энергетики, катализа и электроники. И такие «скрытые» материалы могут существовать в любой области в огромном количестве – просто раньше их никто не искал.

100 МВт ч без воды и лития: гравитационный аккумулятор появится в Африке²⁵

Госкомпания Eskom и Energy Vault оборудуют площадку в провинции Мпумаланга. Механизм будет поднимать 30-тонные блоки за счёт солнечного электричества, а при спуске отдавать ток обратно.

Объект появится там, где раньше работала угольная электростанция Hendrina. Африканский континент получит первый промышленный накопитель, который запасает энергию силой тяжести. Солнечные панели в часы низкого спроса заставят подъёмные механизмы тащить композитные плиты вверх. Когда сети потребуется мощность, блоки пойдут вниз и начнут вращать генераторы. Ёмкость – 100 МВт ч, полная отдача – 25 МВт на протяжении четырёх часов.

Партнёры выбрали схему, которая не требует воды и лития. Грузы можно отливать из промышленных отходов, включая угольные остатки. Для ЮАР, где энергосистему до сих пор трясёт от дефицита и перекосов, это способ выровнять пики без дорогих батарей и плотин.

Договор между Eskom и Energy Vault прописывает и более широкую программу. В перспективе до 4 ГВт ч таких установок могут разойтись по 16 странам Южноафриканского сообщества развития. Речь о Зимбабве, Мозамбике, Анголе, Ботсване, Танзании, Замбии и других. Стороны дого-

²⁵ Источник: <https://hightech.fm/2026/05/14/grav-acc-africa> Опубликовано 14.05.2026

вариваются о передаче технологий, локализации выпуска и обучении местных инженеров.

Пока единственный действующий аналог такого же масштаба стоит в Китае – его запустили в мае 2024 года.

Китай заявил о прорыве в беспроводной передаче энергии из космоса²⁶

Китайские ученые впервые в мире продемонстрировали систему беспроводной передачи мощности нескольким движущимся целям одновременно. Наземный прототип передал 1180 Вт на расстояние более 100 метров с эффективностью преобразования постоянного тока в постоянный 20,8%, а микроволновой луч оставался сфокусированным с точностью 88%. Это важный шаг к созданию орбитальных «беспроводных зарядных станций», которые будут питать спутники и, в перспективе, передавать энергию из космоса на Землю.

На орбите не бывает ни облаков, ни дождей, ни ночи – солнечные панели могут собирать энергию круглые сутки с плотностью потока в 5–10 раз выше, чем на Земле. Проблема в том, как доставить эту энергию туда, где она нужна (на другой спутник, на космическую станцию или на земную приемную антенну). Для этого подходит микроволновой способ: электричество преобразуется в микроволны, передается из космоса на наземный приемник, где преобразуется обратно в ток. Специалисты из Сианьского университета отладили этот цикл полностью, включая конфигурацию «один передатчик – много подвижных приемников».

В 2014 году команда предложила оригинальную конструкцию сферического концентратора света, получившего название Omega. В 2022 году система первой в мире отработала полный цикл: захват солнечного света, преобразование в электричество, превращение в микроволны, передачу и прием. Нынешняя версия – «Распределенная Омега» – решает проблему масштаба. Вместо одной гигантской конструкции предлагается модульная система: множество одинаковых независимых блоков, которые можно собирать на орбите как кубики, заменять по одному, постепенно наращивая мощность. Технически это делает проект более реализуемым.

²⁶ Источник: <https://hightech.plus/2026/05/20/kitai-zayavil-o-prorive-v-besprovodnoi-peredachi-energii-iz-kosmosa> Опубликовано 20.05.2026

Важнее всего, пишет China Daily, что была решена задача обеспечения точности отслеживания, необходимая для питания движущихся объектов. В ходе имитационного эксперимента дрон, летящий со скоростью 30 км/ч, устойчиво принимал 143 Вт с расстояния 30 метров. Испытания имитировали орбитальные условия, где спутники и космические станции постоянно движутся друг относительно друга.

По сравнению с 2022 годом эффективность преобразования постоянного тока на дистанции более 100 м выросла с 15% до 20,8%. КПД сбора луча (насколько точно энергия попадает в приемник) достиг 88% – это означает, что микроволновый луч остается «сфокусированным пучком», а не расплывается в пространстве. Передаваемая мощность – 1180 Вт, чего достаточно для питания нескольких небольших спутников или дронов. Для сравнения: предыдущие демонстрации обычно были «точка-точка» и с фиксированным приемником.

Пекин включил космическую солнечную энергетику в план текущей пятилетки (2026–2030 гг.). Согласно плану, к 2030 году должен быть проведен мегаваттный орбитальный тест, а к 2050 году – на геостационарной орбите должна быть построена гигаваттная станция, которая будет передавать чистую энергию прямо на Землю (с возможностью питания удаленных районов, военных баз или регионов, пострадавших от чрезвычайных ситуаций).

Этанол впервые протестируют как топливо для крупной электростанции²⁷

Бразилия начала тестирование первого проекта, который может стать прорывом в использовании этанола. На электростанции Suape II в штате Пернамбуку энергетическая компания Suape Energia совместно с финской фирмой Wärtsilä запустила модифицированный двигатель, способный работать почти полностью на этаноле.

²⁷ Источник:

https://naukatv.ru/news/etanol_vpervye_protestiruyut_kak_toplivo_dlya_krupnoj_elektrstantsii
Опубликовано 3.06.2026



Как устроен проект

На станции установили специальную версию двигателя Wärtsilä 32M, адаптированную под этанол из сахарного тростника. В ближайшие несколько лет пройдут тысячи часов испытаний в реальных условиях. Специалисты будут тщательно фиксировать производительность, надежность, уровень выбросов и экономическую эффективность.

Бразилия обладает уникальными условиями для такого эксперимента. Страна – крупнейший в мире производитель и потребитель этанола из сахарного тростника. Здесь давно создана мощная инфраструктура для его производства, хранения и транспортировки. Однако до сих пор почти весь этанол шел исключительно в транспортный сектор.

Преимущества этанола для энергетики

Современные энергосистемы сталкиваются с серьезной проблемой: солнечные и ветровые электростанции работают нестабильно – зависят от погоды. Когда солнца нет или ветер слабый, нужна быстрая и надежная альтернатива. Этанол можно хранить в больших объемах годами и использовать в любой момент. По мнению разработчиков, он способен стать удобным «мостом» между нестабильными возобновляемыми источниками и традиционной энергетикой.

Экологический и экономический эффект

Переход на этанол в энергетике может помочь Бразилии снизить выбросы углекислого газа в секторе производства электричества. Кроме того, успешный проект создаст дополнительный рынок сбыта для сахарного

тростника – одной из ключевых сельскохозяйственных культур страны. Это укрепит экономику регионов, где выращивают тростник, и повысит энергетическую безопасность государства.

Пока это демонстрационный проект, но его результаты могут иметь далеко идущие последствия. Если технология окажется технически надежной и экономически выгодной, Бразилия получит новый инструмент для балансировки своей энергосистемы. В будущем подобные двигатели могут появиться и в других странах, где есть доступ к биотопливу.

Проект в Пернамбуку – одна из самых амбициозных попыток вывести этанол за пределы транспортного сектора и использовать его в крупной электроэнергетике. Успех эксперимента может открыть новую главу в развитии «зеленой» энергетики не только для Бразилии, но и для всего мира.

Найден способ использования энергии подземных вод для генерации электричества²⁸

Ученые в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) разработали способ получения электроэнергии с использованием электрокинетических явлений.

Он основан на преобразовании энергии движения подземных вод через пористые породы в электричество и может использоваться для питания геофизической аппаратуры, датчиков и оборудования при проведении полевых геологоразведочных работ, сообщили в пресс-службе.

При геологоразведке, особенно в труднодоступных районах, не всегда возможно регулярное применение накопительных устройств электроэнергии, в связи с чем возникает необходимость в автономных источниках питания.

«Учеными НГТУ была предложена схема генератора, с помощью которого можно получать разность потенциалов электрической энергии за счет движения грунтовых вод. Схема включает электроды, обладающие электродным потенциалом, и контрольно-измерительные приборы», – говорится в сообщении.

На этой схеме электроды размещаются в дисперсном материале, например, песке или специальных гранулах, на разной высоте. Вода по-

²⁸ Источник: <https://science.mail.ru/news/50483-najden-sposob-ispolzovaniya-energii-podzemnyih-vod-dlya/> Опубликовано 4.06.2026

ступает в емкость и просачивается через материал сверху вниз под действием гидростатического давления. Величина давления зависит от высоты столба воды, это движение создает условия для возникновения электрического тока между электродами.

Как отмечают в пресс-службе, установка не требует подключения к электросети или внешним источникам энергии. Она позволит работать там, где нет инфраструктуры, например в экспедициях, на удаленных метеостанциях, в лагерях спасателей или в сельской местности. За счет естественного движения воды через дисперсный материал и взаимодействия с электродами система генерирует электричество, которого достаточно для питания несложного оборудования: датчиков, радиостанций, осветительных приборов или устройств связи. Таким образом, это компактное автономное решение для выработки энергии в полевых условиях.

Финский стартап собирается выпускать суперконденсатор из древесных отходов²⁹

Компания Granarium приступает к промышленному производству суперконденсаторов из отходов древесины и сельскохозяйственных остатков. Технология позволяет снизить капитальные затраты на 80% по сравнению с выпуском аккумуляторов, использует местное возобновляемое сырье и не требует сложнодоступных ископаемых ресурсов. Первый пилотный проект стартует в течение полугода.

Литий-ионные батареи запасают энергию за счет электрохимических реакций. У них высокая удельная емкость, но они медленно заряжаются и разряжаются и ограничены по числу циклов. Суперконденсаторы хранят энергию в электростатическом поле двойного электрического слоя. Они могут отдавать огромные токи за доли секунды, выдерживают сотни тысяч циклов и безопасны. Их недостаток – низкая энергоемкость: 5–10%, по сравнению с батареями. Поэтому они часто работают в паре.

Обычные суперконденсаторы используют активированный уголь из ископаемого сырья и органические электролиты. Стартап Granarium Technologies изготавливает наноцеллюлозную матрицу из отходов лесозаготовки и соломы. У наноцеллюлозы – волокон толщиной 3–10 нм, длиной несколько микрон – огромная удельная поверхность (сотни м²/г), что иде-

²⁹ Источник: <https://hightech.plus/2026/06/12/finskii-startap-sobiraetsya-vipuskat-superkondensator-iz-drevesnih-othodov> Опубликовано 12.06.2026

ально подходит для двойного слоя. При карбонизации наноцеллюлоза превращается в пористый углерод с контролируемой структурой пор. Электролит в суперконденсаторе водный или органический, пишет IЕ.

Капитальные затраты на производство суперконденсаторов Granatum на 80% ниже, чем у фабрики батарей: можно сэкономить на чистых помещениях, сложных системах дозирования химикатов и дорогих станках; процесс идет при комнатной температуре и нормальном давлении, на рулонных линиях. Начальный объем выпуска – до 50 устройств в год.

Компания уже привлекла первых заказчиков и партнеров. Впрочем, до начала массового производства предстоит решить задачи стандартизации, сертификации и снижения стоимости до уровня менее \$100 за кВт·ч, чтобы древесный суперконденсатор стал конкурентоспособным.

Перевод: Юлдашева Г.

Верстка и дизайн: Беглов И.Ф., Дегтярева А.С.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz