



Необходимость применения возобновляемых источников энергии при энергопереходе 21 века

Пивоваров С.С., аспирант кафедры мировой экономики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Аннотация. В данном исследовании отражается проблематика необходимости применения возобновляемой энергетики. Автором было рассмотрено применение возобновляемой энергетики в будущем с экономической, промышленной и социальной точек зрения. Так как современный мир все чаще сталкивается с проблематикой энергетики и климата. На фоне данного тезиса существуют два конкурирующие изображения энергетических возможностей общества. С одной стороны, продукция ископаемого топлива приносит уникальные экономические выгоды, а отказ от угля, нефти и природного газа в пользу возобновляемых источников энергии, таких как солнце и ветер, повлечет за собой издержки. То есть спасение климата, возможно, не стоит затраченных усилий, если энергетическая индустрия не сможет найти доступные способы улавливания и связывания углерода, продолжая сжигать ископаемое топливо. С другой стороны, возобновляемые источники энергии расположены повсюду, в природе много ветра и солнца, воды, то есть топливо бесплатное. Единственное, что стоит между человечеством и защищенным от изменения климата миром – политическое влияние крупных монополистов угольной, нефтяной и газовой промышленности. Однако данные тезисы не однозначны и имеют свои плюсы и минусы, которые были рассмотрены в данном исследовании.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, экономические проблемы, энергопереход, энергоснабжение.

Prospects for the use of renewable energy sources in the energy transition of the 21st century

Pivovarov S.S., Postgraduate student at the Department of World Economy
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Annotation. This study reflects the issue of the need for renewable energy. The author considered the use of renewable energy in the future from an economic, industrial and social point of view. As the modern world is increasingly confronted with the problems of energy and climate. Against the background of this thesis, there are two competing images of the energy potential of society. On the one hand, fossil fuel products bring unique economic benefits, while abandoning coal, oil, and natural gas in favor of renewable energy sources such as solar and wind will entail costs. That is, saving the climate may not be worth the effort if the energy industry cannot find affordable ways to capture and sequester carbon while continuing to burn fossil fuels. On the other hand, renewable energy sources are located everywhere, there is a lot of wind and sun in nature, water, that is, fuel is free. The only thing that stands between humanity and a world protected from climate change is the political influence of the large monopolists of the coal, oil and gas industries. However, these theses are not unambiguous and have their pros and cons, which were considered in this study.

Key words: renewable energy sources, economic problems, energy transition, energy supply.

Введение. В долгосрочной перспективе использование ископаемого топлива невозможно по двум решающим причинам. Во-первых, сжигание ископаемого топлива изменяет климат до такой степени и такими темпами, что экономический и экологический крах может наступить в ближайшие десятилетия. Во-вторых, это истощающие, невозобновляемые источники энергии. Добывая их, используется принцип «низко висящих плодов», что означает, что дальнейшее увеличение добычи повлечет за собой рост затрат (например, затраты нефтяной промышленности на разведку и добычу в

последнее время растут почти на 11% в год), а также ухудшение экологических рисков [1]. Эта проблема начала возникать в течение последних десяти лет, поскольку сокращение традиционной добычи нефти и природного газа подготовило почву для Великой рецессии и дорогостоящих (и разрушительных для окружающей среды) методов «гидроразрыва пласта» и добычи битуминозных песков.

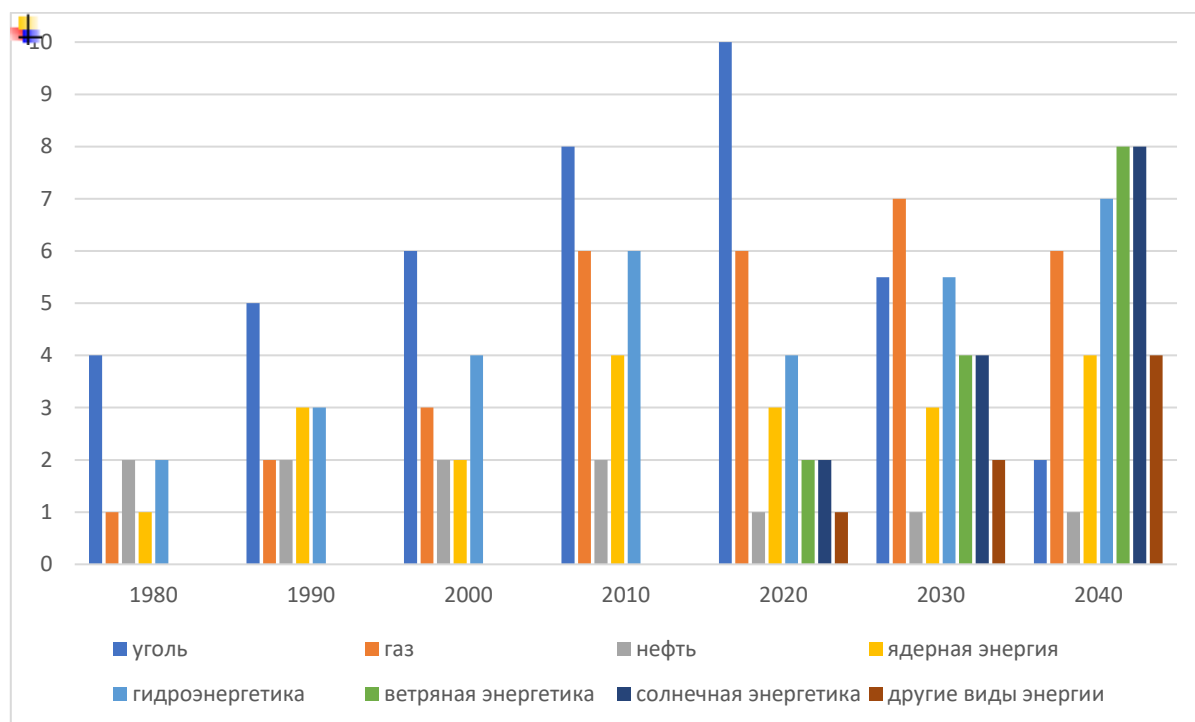


Рис. 1 – Доля всех видов энергетики в период с 1980 гг. по 2040 г. (прогноз)

Источник: Составлено автором на основе доклада института энергетических исследований РАН «Прогноз развития энергетики мира и России 2024» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eriras.ru/prognoz-2024/> (дата обращения 02.09.2025)

Согласно данным рис. 1 можно заметить, что возобновляемая энергетика начала прогрессировать только к 2020 году. Данный факт не удивителен, так как именно острая необходимость в переходе от традиционной энергетики к возобновляемой возникла наряду с глобальными экологическими и экономическими проблемами. Рано или поздно настигнет реальность снижения доступности ископаемого топлива, что уже привлекает всеобщее внимание. В подавляющей степени мир зависим от этого вида топлива практически во всем. Таким образом, хотя сторонники ископаемого топлива правы, утверждая, что уголь, нефть и газ необходимы для нынешней экономики, то, о чем они

умалчивают, на самом деле более важно, если речь идет о будущем энергетического сектора.

Способы накопления энергии. Солнечная энергия и ветренная отличаются друг от друга: они доступны на условиях природы. Энергия солнца и ветра непостоянна, изменчива, стохастична или хаотична. Однако существуют способы сгладить эту изменчивость: накопление энергии из возобновляемых источников с помощью аккумуляторов или маховиков, использование гидроэнергетики (перекачивание воды вверх по склону, чтобы позже восстановить ее потенциальную энергию, когда она снова потечет вниз по течению), существуют также наработки по мощной суперсети с надежным резервированием генерирующих мощностей (в случае, когда солнце и ветер будут недоступны в одном регионе, другой регион сможет покрыть потребности во всей взаимосвязанной системе) [5]. Главным препятствием данной стратегии является скудное финансирование подобных проектов, которые повышают сложность и уязвимость того, что и без того является самым большим из когда-либо созданных устройств, например энергосистемы. Важно отметить, что исследование, проведенное Вайсбахом и соавторами, сравнило энергетическую экономичность различных типов электростанций на протяжении всего жизненного цикла и показало, что, как только перебои в подаче солнечной и ветровой энергии компенсируются технологиями хранения, эти источники становятся гораздо менее эффективными, чем уголь, природный газ или атомные станции [2]. Однако, солнечная и ветровая энергетика находятся «ниже экономического порога» долгосрочной жизнеспособности, независимо от падения долларовых цен на сами панели и турбины. Проблема заключается в том, что количество энергии, выделяемой системой полного цикла генерации-накопления, не может быть возмещено с существенной энергетической выгодой за счет использования этой системы в течение срока ее службы.

Непостоянство спроса на возобновляемую энергетику. Первоначальные объемы солнечной и ветровой энергии легко и дешево интегрировать в существующую систему распределения электроэнергии, поскольку мощность

газовых электростанций, работающих на пике мощности, может быть быстро увеличена или уменьшена для удовлетворения этих новых, небольших, переменных затрат, а также для соответствия изменяющемуся общему уровню спроса. В этом случае цена ветровой и солнечной энергии учитывается как непосредственная стоимость строительства, установки и технического обслуживания турбин и панелей. И, как недавно отметила New York Times, цена на электроэнергию из возобновляемых источников в настоящее время часто сопоставима с ценой на электроэнергию из ископаемого топлива [7]. Исходя из этого, солнечная энергия и ветер являются прорывными технологиями: они дешевеют, в то время как ископаемое топливо может только дорожать. Это очевидное экономическое преимущество возобновляемой энергии - бесплатного «топлива» в виде солнечного света и ветра имеет решающее значение, поскольку многие страны сталкиваются с падением оптовых цен на электроэнергию. Но поскольку электроэнергия, получаемая из различных возобновляемых источников, составляет все большую долю всей вырабатываемой энергии, требования к технологиям хранения энергии, резервированию мощностей и модернизации энергосистем неизбежно возрастут; более того, после определенного момента (энергетического коллапса) объем необходимых инвестиций, скорее всего, резко возрастет. Управляющие сетями склонны утверждать, что переломный момент наступает, когда энергия солнца и ветра обеспечивает около 30 процентов общего спроса на электроэнергию, хотя одна компьютерная модель предполагает, что это может быть отложено до тех пор, пока не будет достигнуто 80-процентное проникновение на рынок [5].

Существуют два противоположных взгляда на вопрос о том, насколько дорогостоящим и сложным является переход к возобновляемым источникам энергии. Оптимистический подход в области возобновляемых источников энергии Джейкобсона и Делукки и подход более простого пути Ted Trainer [7]. Назревающая потребность в инвестициях в накопители и модернизацию электросетей является одной из причин, по которой некоторые электроэнергетические компании начинают вести войну против возобновляемых

источников энергии. Другая причина заключается в том, что учет чистой энергии ставит коммунальные службы в невыгодное положение по сравнению с домовладельцами, использующими солнечную энергию; еще одна причина заключается в том, что компании, работающие на ископаемом топливе, в принципе не приемлют конкуренции со стороны солнечной энергии и ветра. По мере удешевления солнечных панелей их устанавливает все больше домов и предприятий; это накладывает на коммунальные компании расходы, сглаживающие перебои в работе, которые затем повышают розничные цены для плательщиков тарифов. Тогда у последних появляется еще больший стимул устанавливать автономные солнечные батареи с батарейным питанием и вообще отказываться от электросети, что приводит к неблагоприятным последствиям для коммунальных предприятий [10]. Однако в настоящее время для создания и внедрения технологий использования возобновляемых источников энергии требуется ископаемое топливо, поэтому, по сути, они функционируют на старой энергетической инфраструктуре.

Возобновляемая энергетика в области транспорта. Сектор производства электроэнергии представляет собой самый простой этап общего перехода к энергетике (поскольку альтернативные технологии существуют, даже если они проблематичны), но только около 22 процентов мировой энергии потребляется в виде электроэнергии [6]. Крупнейшим источником энергии является нефть, которая служит топливом практически для всех видов транспорта. Транспорт занимает центральное место в торговле, которая, в свою очередь, является сердцем мировой рыночной экономики. Нефть также является топливом для сельскохозяйственного сектора. Из трех основных видов ископаемого топлива нефть демонстрирует самые явные признаки истощения, и возобновляемые источники ее замены на данный момент неперспективны. Большую часть транспорта можно электрифицировать, но их доля на рынке ничтожно мала, и при нынешних темпах роста потребуется много десятилетий, чтобы вытеснить обычные автомобили, работающие на бензине [2].

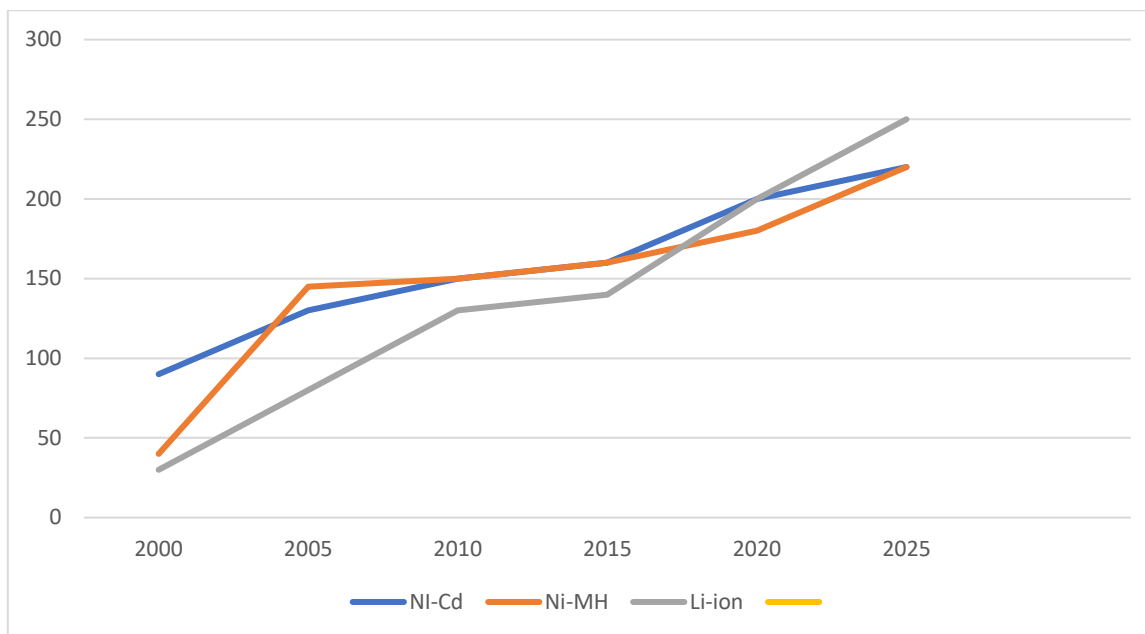


Рис. 2 – Динамика роста энергоемкости Ni-Cd, Ni-MH, Li-ion аккумуляторов с 2000 по 2025 год

Источник: Составлено автором на основе глобальный энергетический аналитический центр Ember «Global Electricity Review 2025» [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/> (дата обращения 02.09.2025)

Не смотря на положительную динамику, согласно рис. 2, развития энергоемкости всех видов аккумуляторов, они не очень хорошо зарекомендовали себя в больших и тяжелых автомобилях. Причина кроется в плотности энергии: электрическая батарея обычно способна накапливать и выдавать всего от 0,1 до 0,5 мегаджоулей энергии на килограмм; таким образом, по сравнению с бензином или дизельным топливом (от 44 до 48 МДж/кг), автомобиль очень тяжелый с точки зрения выработки энергии. Безусловно некоторые прорывы в области плотности накопления энергии в батареях существуют, но даже с учетом этих улучшений проблема остается: теоретический максимальный запас энергии в батареях (около 5 МДж/кг) по-прежнему намного ниже плотности энергии в масле [7].

Ни дальнемагистральные грузоперевозки, ни контейнерные перевозки, скорее всего, никогда не будут электрифицированы в сколь-нибудь значительных масштабах, а электрические авиалайнеры на данный момент не имеют перспективы развития и внедрения в крупные корпорации. Десять лет назад

широко рекламировались перспективы использования биотоплива в качестве прямой замены нефти, но со временем интерес к данной концепции угас [3]. Оказывается, необходимы огромные субсидии, поскольку процессы производства этого топлива являются очень энергоемкими. Это касается также целлюлозного этанола второго поколения и биодизельного топлива из водорослей. Исследования в области синтетической биологии для производства биотоплива находятся в зачаточном состоянии. Водород является средством накопления энергии, которое может быть использовано, в частности, для питания транспортных средств, и Toyota собирается выпустить свой первый коммерческий автомобиль на водородном топливе. Однако, в случае производства водорода с помощью возобновляемых источников энергии, это означает получение H_2 из воды с использованием солнечной энергии или энергии ветра. К сожалению, это дорогостоящий способ (большая часть коммерчески производимого водорода в настоящее время производится из природного газа, поскольку процесс газового риформинга по своей сути более эффективен и поэтому почти всегда используется в качестве топлива) [2].

Эти проблемы заставляют некоторых аналитиков в области энергетики предлагать более дешевую альтернативу нефти: перевод транспортного парка на сжигание сжатого природного газа, который, по мнению правительства и промышленности, в изобилии и безопасен для климата. К сожалению, в долгосрочной перспективе это не сыграет своей роли. Во всем мире природный газ может быть доступен в достаточных количествах еще в течение нескольких десятилетий, но оптимистичные прогнозы о «100-летних» запасах газа на мировом рынке оказываются необоснованными, а утечка метана из инфраструктуры добычи и транспортировки может в конечном итоге сделать газ еще более вредным для климата, чем нефть [2].

Проблематика энергоемкости. Еще одной проблематикой, вытекающей из всего вышесказанного, является количество доступной энергии в будущем, основанном на возобновляемых источниках энергии. Однозначно ответить на данный вопрос невозможно, так как существует слишком много переменных,

чтобы можно было хотя бы отдаленно точно оценить, насколько меньше энергии человечеству придется потреблять. Однако опираясь на опыт прошлого, а именно на энергетический переход 19-го и 20-го веков, можно сказать, что он был аддитивным. Человечество продолжало использовать новые источники энергии поверх существующих (начиная с дров, затем уголь, нефть, гидроэнергию, природный газ и ядерную энергию) [9].

Энергетический переход 21-го века повлечет за собой замену существующих первичных источников энергии, и это может быть в значительной степени обусловлено либо политикой правительства, либо кризисом (нехваткой топлива, погодными катаклизмами, вызванными изменением климата, или экономическим спадом) [4]. Даже самые оптимистичные прогнозы в области возобновляемых источников энергии, которые утверждают, что перебои в поставках разрешимы по цене, как правило, предполагают, что после завершения перехода от ископаемого топлива возобновляемых источников будет меньше, чем, по оценкам Международного энергетического агентства. Одним из таких исследований является анализ, проведенный Лундом и Матисоном [8]. Данное исследование прогнозирует уровни потребления энергии к 2030 году. Однако, если (как предполагает исследование Вайсбаха) перебои в работе на самом деле являются серьезным экономическим бременем для солнечной и ветровой энергетики в долгосрочной перспективе, то нужно учитывать вероятность того, что запасы энергии, доступные к концу столетия, могут быть меньше — возможно, значительно меньше, чем сейчас. В то же время качество энергоснабжения будет отличаться от привычного.

Как объяснялось ранее в данном исследовании, солнечная и ветровая энергия работают с перебоями, в отличие от источников ископаемой энергии. Кроме того, хотя планета наделена большим количеством ветра и солнечного света, это рассеянные источники энергии, которые необходимо собирать и концентрировать, если они необходимы для работы тяжелой техники. В действительности есть способ сократить эффективное использование солнечной энергии, используя существующие крыши, а ветряные турбины могут занимать

место рядом с продовольственными культурами. Тем не менее, увеличение географической протяженности деятельности по сбору энергии неизбежно приведет к затратам, неэффективности и воздействию на окружающую среду.

Ключевая концепция Вайсбаха. Энергия, возвращаемая на вложенную энергию (EROI или EROEI) [2]. Для получения энергии требуется энергия: например, энергия необходима для бурения нефтяной скважины или создания солнечной панели. Историческая экономическая выгода, полученная в результате использования обществом ископаемого топлива, частично была обусловлена тем фактом, что в 20-м веке для бурения или добычи полезных ископаемых требовалось лишь незначительное количество энергии по сравнению с получаемым при этом потоком. Высокие коэффициенты EROEI (в диапазоне от 20:1 до 50:1 и более) для усилий общества по получению энергии означали, что для обеспечения всей энергии, которую могло использовать общество, требовалось относительно немного капитала и рабочей силы. В результате многие люди могли бы быть освобождены от основной деятельности, связанной с производством энергии, например от ведения сельского хозяйства, и их труд был бы заменен машинами, работающими на топливе. Получив работу в сфере производства и управления, эти люди нашли способы использовать обильную дешевую энергию для производства большего количества товаров и услуг. Коэффициенты EROEI для ископаемого топлива снижаются, поскольку используются ресурсы самого высокого качества; в то же время показатели энергетической отдачи большинства возобновляемых источников энергии относительно низки по сравнению с ископаемым топливом в период его расцвета, особенно в отношении технологий буферизации, таких как оборудование для хранения, резервные мощности и энергосистемы расширения. Практическим результатом снижения общей социальной напряженности станет необходимость направлять пропорционально больше капитала и рабочей силы на процессы производства энергии. Это, вероятно, приведет, например, к увеличению потребности в рабочей силе на фермах и сокращению возможностей

в профессиях, не связанных непосредственно с производственной деятельностью.

Вторая важная энергетическая концепция связана с различием между физической и рабочей энергией. Избыток энергии в 20-м веке позволил воплотить энергию в большом количестве зданий, инфраструктуры, машин, гаджетов. Семьи среднего класса привыкли покупать и выбрасывать огромное количество промышленных товаров, представляющих собой значительную долю ранее израсходованной энергии [7]. Если в будущем количество энергии будет сокращаться, доступной для использования возобновляемых источников энергии, это повлияет не только на работу промышленности, но и на освещение и отопление зданий. Это также приведет к сокращению потока промышленных товаров, на которые в прошлом тратились энергоресурсы, и уменьшению возможности строительства зданий с высокой энергоемкостью.

Заключение. Цены на возобновляемые источники энергии падают, в то время как стоимость производства ископаемого топлива растет. Точка пересечения, когда ископаемое топливо перестанет быть конкурентоспособным по стоимости, может наступить в ближайшее время. По мере удешевления аккумуляторов электромобили могут стать промышленным стандартом; снижение спроса на бензин, вероятно, приведет к снижению цен на нефть ниже предельных издержек ее производства. Если бы падение спроса периодически опережало снижение предложения (и наоборот), то результатом стала бы растущая волатильность цен на нефть. Тем временем, по мере того как все больше предприятий и домов устанавливают конкурентоспособные по стоимости солнечные системы и аккумуляторы, обычные коммунальные предприятия могут обанкротиться. В результате человечество получит технологию «зеленой» энергетики, но не энергетические средства для ее поддержания и воспроизведения в долгосрочной перспективе, поскольку каждый аспект процесса внедрения возобновляемых источников энергии в настоящее время зависит от ископаемого топлива, особенно нефти.

Библиографический список:

1. Б.М. Ал-Алави, Т. Х. Брэдли, Обзор исследований по моделированию рынка гибридных транспортных средств, подключаемых к сети и электромобилей. Обзор по возобновляемым источникам энергии и устойчивому развитию энергетики 190–203 (2013)
2. Гвардиан, Гардинер, Джоуи. «Появление электромобилей может привести к тому, что мы столкнемся с серьезной проблемой утилизации аккумуляторов"». [Электронный ресурс] <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling> (02.09.2025)
3. Глобальный энергетический аналитический центр Ember «Global Electricity Review 2025» [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/> (02.09.2025)
4. Доклад института энергетических исследований РАН «Прогноз развития энергетики мира и России 2024» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eriras.ru/prognoz-2024/> (дата обращения 02.09.2025)
5. Д. Вайсбах, Г. Рупречта, А. Хукеа, К. Черския, С. Готлеба, А. Хуссейна Энергоемкость, EROI и сроки окупаемости электростанций, вырабатывающих электроэнергию, 20-29 (2013)
6. Курбатова М.В., Пыжев А.И. (2023). Низкоуглеродная экономика как институциональный проект: проблема и цели // Journal of Institutional Studies 15(2): 6–23. DOI:10.17835/2076-6297.2023.15.2.006-023
7. Ларссон, Фредрик и др. «Выбросы токсичных газообразных фторидов при возгорании литий-ионных аккумуляторов». Nature News, Nature Publishing Group. [Электронный ресурс] <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09784-z> (02.09.2025)
8. Марк З. Якобсон, Марк А. Делучи, Путь к устойчивой энергетике к 2030 году, 58-65 (2009)
9. Савина Н.П. Адаптация стратегий энергоперехода и трансграничное углеродное регулирование в условиях глобальных вызовов / В сборнике: Шаг в

будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Сборник научных статей. В трех томах. – 2023. – С. 66-73.

10. Т. Дакал, К. С. Мин Макроэкономическое исследование глобального распространения электромобилей. Форсайт и управление в области НТИ, 15(1), 67–73 (2021)

References:

1. B. M. Al-Alawi, T. H. Bradley, Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 190–203 (2013)

2. Gardiner, Joey. «The Rise of Electric Cars Could Leave Us with a Big Battery Waste Problem». The Guardian, Guardian News and Media. [Electronic resource] <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling> (02.09.2025)

3. Ember Global Energy Analytical Center «Global Electricity Review 2025» [Electronic resource]. Access mode <https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/> (02.09.2025)

4. Report of the Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences «Forecast of the development of the energy sector of the world and Russia 2024» [Electronic resource]. Access mode: <https://www.eriras.ru/prognoz-2024/> (дата обращения 02.09.2025)

5. D. Weißbach^{a,b}, G. Ruprecht^a, A. Huke^{a,c}, K. Czerskia^b, S. Gottlieb^a, A. Husseina^d, Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants, 20-29 (2013)

6. Kurbatova M.V., Pyzhev A.I. (2023). Low-carbon Economy as an Institutional Project: problem and goals // Journal of Institutional Studies 15(2):6-23. DOI:10.17835/2076-6297.2023.15.2.006-023

7. Larsson, Fredrik, et al. «Toxic Fluoride Gas Emissions from Lithium-Ion Battery Fires» Nature News, Nature Publishing Group. [Electronic resource] <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09784-z> (02.09.2025)

8. Mark Z Jacobson, Mark A Delucchi, A Path to Sustainable Energy by 2030 «Scientific American» 58-65 (2009)
9. Savina N.P. Adaptation of energy transition strategies and cross-border carbon regulation in the context of global challenges / In the collection: Step into the future: artificial intelligence and the digital economy. Collection of scientific articles. In three volumes. 2023. pp. 66-73.
10. T. Dhakal, K. S. Min, Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion. Foresight and STI Governance, 15(1), 67–73 (2021)