

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АРКТИКЕ

## TECHNOLOGICAL SUBSTANTIATION OF THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE ARCTIC

Стоцкий А.И.  
Никоноров С.М.  
Воротников А.М.  
Сергеев Д.А.

Stotsky A.I.  
Nikonorov S.M.  
Vorotnikov A.M.  
Sergeev D.A.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Возобновляемые источники энергии  
Климат  
Стратегия низкоуглеродного развития  
Зеленые облигации  
Седьмая цель устойчивого развития

### KEY WORDS:

Renewable energy  
Climate  
Low-carbon strategy  
Green bonds  
Sustainable Development Goal 7

### АННОТАЦИЯ

По оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата, начиная с 1970-х годов наблюдается глобальное потепление, которое проявляется в почти линейном росте температуры и связано с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере за счёт антропогенных выбросов. В этих условиях обеспечение устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации связано с необходимостью постепенного изменения структуры экономики путем её диверсификации соответственно растущим климатическим вызовам, что также будет способствовать достижению глобальных целей, закреплённых международными соглашениями по климату. Это позволит создать основу для защиты отечественных экспортёров и заложить предпосыл-

### ABSTRACT

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change, since the 1970s, global warming has been observed, which manifests itself in an almost linear increase in temperature and is associated with an increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere due to an increase in their anthropogenic emissions. In these conditions, ensuring sustainable socio-economic development of the Russian Federation is associated with the need to gradually change the structure of the economy by diversifying it in accordance with growing climate challenges, which will also contribute to the achievement of global goals enshrined in international agreements on climate. This will create the basis for the protection of domestic exporters and lay the prerequisites for the technological

ки для технологической трансформации экономики. В свою очередь, переход на траекторию интенсивного сценария низкоуглеродного развития позволит достичь углеродной нейтральности во второй половине XXI века ближе к его завершению. При любых сценариях придётся переходить на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). При базовом сценарии — с 1 % до 2,5 %, а при интенсивном сценарии — до 4 % и выше. В статье представлен анализ различных видов возобновляемых источников энергии для их возможного внедрения в АЗРФ. Также представлена динамика развития ВИЭ.

transformation of the economy. In turn, the transition to the trajectory of the Intensive low-carbon development scenario will allow achieving carbon neutrality in the second half of the 21st century closer to its end. Under any scenarios, you will have to switch to renewable energy sources. In the baseline scenario – from 1 % to 2.5 %, and in the intensive scenario – up to 4 % and more. The article presents an analysis of various types of renewable energy sources for their possible implementation in the Russian Arctic. The dynamics of the development of renewable energy sources is also presented.



### **Стоцкий А.И.**

Генеральный директор Проектного  
Офиса Развития Арктики (ПОРА)

—  
[stotsky@porarctic.ru](mailto:stotsky@porarctic.ru)

### **Stotsky A.I.**

General Director of the Arctic Development  
Project Office (PORA)

—  
[stotsky@porarctic.ru](mailto:stotsky@porarctic.ru)



### **Никоноров С.М.**

Доктор экономических наук, профессор  
кафедры экономики природопользо-  
вания, директор Центра исследования  
экономических проблем развития  
Арктики Экономического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова, эксперт  
Проектного Офиса Развития Арктики  
(ПОРА) по устойчивому развитию

—  
[nico.73@mail.ru](mailto:nico.73@mail.ru)

### **Nikonov S.M.**

Doctor of Economics, Professor of the  
Department of Environmental Economics,  
Director of the Center for Research on Eco-  
nomic Problems of the Development of the  
Arctic, Faculty of Economics, Moscow State  
University named after M.V. Lomonosov,  
expert for sustainable development – Project  
Office for Arctic Development

—  
[nico.73@mail.ru](mailto:nico.73@mail.ru)



### **Воротников А.М.**

Кандидат химических наук, доцент кафедры государственного управления и публичной политики Института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы, координатор Экспертного совета Экспертного центра ПОРА (Проектный офис развития Арктики)

—  
vdep14@yandex.ru

### **Vorotnikov A.M.**

Candidate of Chemical Sciences, associate professor of the Department of Public Administration and Public Policy of the Institute of Social Sciences, the Russian Academy of National Economy and Public Administration, coordinator of the Expert Council of the PORA Expert Center (Project Office for Arctic Development)

—  
vdep14@yandex.ru



### **Сергеев Д.А.**

Магистр Экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

—  
sergeev.denis.an@gmail.com

### **Sergeev D.A.**

Master of the Faculty of Economics, Moscow State University named after M.V. Lomonosov

—  
sergeev.denis.an@gmail.com

## **Седьмая цель ООН в области устойчивого развития**

По оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата, начиная с 1970-х годов, наблюдается глобальное потепление, которое проявляется в почти линейном росте температуры и связано с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере за счет антропогенных выбросов. Задача сохранения климата является общей для всех стран. Для объединения усилий в 1992 году была принята Рамочная конвенция ООН об изменении климата, в развитие которой реализуются Киотский протокол (с 1997 года) и Парижское соглашение (с 2015 года). Ответом большинства государств на климатические вызовы и угрозы является переход на траекторию устойчивого развития с низким уровнем выбросов парниковых газов. Это сопряжено с существенным ростом инвестиций в разработку и внедрение низкоуглеродных и безуглеродных технологий. В результате чего возможно замедление роста спроса на углеводороды и возникновение новых торговых ограничений в виде углеродных налогов и пошлин, привязанных к углеродному следу производимой продукции. В этих условиях обеспечение устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации связано с необходимостью постепенного изменения структуры экономики путем её диверсификации пропорционально растущим климатическим вызовам, что также будет

способствовать достижению глобальных целей, закрепленных международными соглашениями по климату [1].

Одна из 17 целей устойчивого развития — № 7 — так и называется: «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех». В связи с этим подразумевается к 2030 году решить следующие задачи:

- 1) обеспечить всеобщий доступ к недорогому, надёжному и современному энергообеспечению;
  - 2) значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе;
  - 3) удвоить глобальный показатель повышения энергоэффективности;
- a) активизировать международное сотрудничество в целях облегчения доступа к исследованиям и технологиям в области экологически чистой энергетики, включая возобновляемую энергетику, повышение энергоэффективности и передовые и более чистые технологии использования ископаемого топлива, и поощрять инвестиции в энергетическую инфраструктуру и технологии экологически чистой энергетики;
- b) расширить инфраструктуру и модернизировать технологии для современного и устойчивого энергоснабжения всех в развивающихся странах, в частности в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и развивающихся странах, не имеющих выхода к морю, с учётом их соответствующих программ поддержки.

Кроме того, ООН принимает во внимание следующие факты и цифры:

- каждый пятый человек во всем мире не имеет доступа к электроэнергии;
- около 3 млрд человек зависят от традиционной биомассы, такой как древесина или растительные остатки, которые используются для приготовления пищи и отопления;
- энергетика является доминирующим фактором в области изменения климата, и на её долю приходится около 60 % от общего объёма глобальных выбросов парниковых газов;
- загрязнение воздуха в результате приготовления пищи и отопления с использованием горючего топлива унесло 4,3 миллиона жизней в 2012 году, 6 из 10 погибших человек — женщины и девочки;
- 2015 году доля энергии из возобновляемых источников в общем объёме конечного энергопотребления достигла 17,5 %.

Низкоуглеродное развитие и Арктика

## Низкоуглеродное развитие и Арктика

Развивая АЗРФ с учётом климатических изменений, необходимо использовать новые современные технологии получения и применения энергии. Необходим переход к использованию таких видов энергии, которые максимально снижают углеродный след. То есть производство которых минимально повышает выделение парниковых газов в атмосферу. Следовательно, необходим переход к альтернативной энергетике (АЭ) с использованием возобновляемых источников энергии (далее — ВИЭ) [2].

Под альтернативной энергетикой мы понимаем использование энергии солнца, ветра, приливов, земного тепла и т. д. В настоящее время при существующих

технологиях очень сложно полностью обеспечить энергопотребление за счёт АЭ, и особенно сложно это сделать в Арктике. Но технологии быстро развиваются, и мы движемся к водородной энергетике. Также существует реальная возможность использования «гибридных» источников энергии: ветер / солнце / мазут / СПГ / мини-ГЭС и т. д.

Говоря о технологиях, нужно помнить и о финансировании проектов по развитию АЭ. По нашему мнению, необходимо использовать различные формы взаимодействия государства и бизнеса. Это в первую очередь ГЧП, а именно — концессионные соглашения. При этом очень важно использовать облигационное финансирование: инфраструктурные облигации, инфраструктурный кредит. А активное использование «зелёных» облигаций позволит говорить об устойчивом финансировании и устойчивом развитии таких проектов [3, 4].

В Стратегии долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (далее — Стратегия; документ находится на этапе разработки, но уже готов Проект документа, в котором прописано всё необходимое) рассмотрены два основных сценария низкоуглеродного развития: базовый сценарий — довести долю ВИЭ до 2,5 %, а также интенсивный сценарий, доля ВИЭ — 4,5 %. Базовый сценарий предусматривает масштабное повышение энергетической эффективности российской экономики, полное обеспечение баланса воспроизводства лесов, расширение площади их охраны и существенное сокращение сплошных рубок. По мере достижения ключевых индикаторов реализации базового сценария углеродоёмкость ВВП страны по сравнению с уровнем 2017 года снизится на 9 % к 2030 году и на 48 % к 2050 году. Целевое значение объёма выбросов парниковых газов в 2030 году составит 2/3 от уровня 1990 года по сравнению с предыдущей целью в 3/4 от того же уровня. По мере реализации базового сценария необходимо также обеспечить формирование правовой основы и методологической базы для введения в РФ национальной системы углеродного регулирования [5]. Это позволит создать основу для защиты отечественных экспортёров и заложить предпосылки для технологической трансформации экономики.

В свою очередь, переход на траекторию интенсивного сценария низкоуглеродного развития позволит достичь углеродной нейтральности во второй половине XXI века ближе к его завершению. При любых сценариях придётся переходить на возобновляемые источники энергии. При базовом сценарии — с 1 % до 2,5 %, а при интенсивном сценарии — до 4 % и выше.

## Возобновляемые источники энергии

Согласно определению Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [6], возобновляемая энергия — это энергия, полученная из возобновляемых источников, которыми являются: 1) биоэнергия, 2) геотермальная энергия, 3) гидроэнергия, 4) энергия океана, 5) солнечная энергия, 6) энергия ветра.

**Биоэнергия** подразумевает получение электрической или тепловой энергии из биотоплива. Способы получения энергии из биотоплива можно разделить на два вида — традиционный и современный [7].

Под традиционным способом понимается сжигание древесины, отходов животноводства и древесного угля, в то время как современный способ включает в себя более технологичные способы получения энергии: производство жидкого биотоплива путём переработки растений, а также биогаза с помощью анаэробного брожения отходов животноводства, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве топлива для автомобилей и электростанций или для получения тепловой энергии от сгорания биомассы.

Главным преимуществом данного источника энергии является его гибкость — биотопливо можно использовать как для заправки транспорта, так и для выработки энергии на электростанциях. Однако активное применение биомассы может привести к росту цен на продукцию сельского хозяйства, поскольку часть сельскохозяйственных угодий будет использоваться для производства биомассы.

В биоэнергетике для выработки электрической и тепловой энергии также могут применяться древесные пеллеты, производимые путём компрессии торфа, древесных отходов и отходов сельского хозяйства в гранулы, которые затем сжигаются в генераторе.

Благодаря улучшению технологий и развитию производства, в среднем по миру нормированная стоимость электроэнергии (LCOE, показатель, используемый международными агентствами для сравнения цен на электричество в различных странах; ниже приводится метод расчёта LCOE) в период с 2014 по 2018 годы снизилась на 24 % и составила 0,061 USD/кВт ч [8].

**Геотермальная энергия** — это тепловая энергия из недр Земли, которая доставляется к поверхности вместе с водой или паром [9, 10]. Данный вид энергии может применяться для обогрева или охлаждения помещений, а также для выработки электроэнергии.

Обогрев и охлаждение помещений происходят за счёт постоянства температуры в поверхностных слоях земной коры. Тепловая энергия с глубины ниже уровня промерзания (от трёх метров), где температура зимой выше, чем на поверхности, с помощью тепловых насосов доставляется в здание для обогрева помещений. Летом избыточное тепло из зданий отводится под землю, где в это время сохраняется относительно низкая температура.

Обогрев может осуществляться также и за счёт тепла подземных вод — в таком случае вода или пар поступают напрямую в отопительные системы. Данный метод применяется не только для отопления зданий, но и для поддержания высокой температуры в теплицах или растапливания снега на дорогах.

Геотермальные станции, с помощью которых вырабатывается электроэнергия, делятся на три вида [11]:

1. Работающие на «сухом пару». На таких электростанциях используется гидротермальный пар, который поступает из скважины напрямую в турбину, питающую генератор. Является старейшим типом геотермальных станций.
2. Работающие за счёт испарения жидкостей. На станциях этого вида гидротермальные жидкости при температуре выше 182 °C из скважины под высоким давлением закачиваются в ёмкость, где, в связи с разницей давления в жидкости и на поверхности Земли, вода стремительно испаряется. Пар попадает в генератор, где заставляет ротор турбины вращаться, благодаря чему вырабатывается электроэнергия. На данный момент этот тип электростанций является наиболее распространённым.
3. Геотермальные станции бинарного цикла. Данные станции применяются в геотермальных районах, где температура гидротермальных жидкостей составляет менее 200 °C. Основное отличие данного вида электростанций заключается в том, что жидкость из геотермального источника не попадает непосредственно в генератор — она лишь передаёт через теплообменник свою энергию второй жидкости, имеющей точку кипения ниже, чем температура воды из скважины. В таких условиях вторая жидкость начинает испаряться, тем самым приводя в движение турбину генератора. Благодаря распространённости геотермальных районов с необходимым уровнем температуры жидкости, в будущем этот относительно новый тип геотермальных станций может стать самым популярным.

Главным преимуществом геотермальной энергии по отношению к остальным ВИЭ является высокий потенциальный уровень выработки электричества, а также стабильность генерации. Однако размещать геотермальные электростанции можно не везде — лишь вблизи тектонически активных разломов. В период с 2014 по 2018 годы нормированная стоимость геотермальной энергетики, в отличие от биоэнергетики, росла — она увеличилась на 16 %, составив 0,072 USD/кВт·ч, что связано с распространением данного вида энергии в регионах, где генерация геотермальными станциями энергии не столь эффективна.

**Гидроэнергия** — это энергия, производимая потоком воды [12]. Гидроэлектростанции (ГЭС) можно разделить на 3 вида [13]:

1. Плотинные. Данные электростанции используют дамбы для сохранения воды в водохранилище, из которого она, проходя под большим давлением через специальные туннели в плотине, попадает в турбину. При этом напор воды может быть повышен для удовлетворения повышенного спроса на электроэнергию или же, напротив, снижен для восстановления уровня воды в хранилище. Данный вид электростанций распространён наиболее широко, поскольку позволяет производить огромное количество дешевой электроэнергии без выброса CO<sub>2</sub> в атмосферу, однако у него есть и недостатки [14]: возможность строительства лишь на крупных реках; затопление земель во время создания водохранилища; выселение жителей затопляемых территорий из их домов; нанесение ущерба естественной среде обитания животных и растений; возможность потери источника энергии во время засухи; загрязнение атмосферы метаном в связи с разложением органического материала в водохранилище.

2. Деривационные. Таким гидроэлектростанциям не всегда нужна плотина: в случае, если река имеет значительный уклон, вода отводится из русла реки с помощью специальных каналов, после чего попадает в турбину, а затем попадает обратно в речное русло. В связи с тем, что не использующие дамб деривационные ГЭС не имеют ни водохранилищ, ни дамб, они лишены недостатков крупных плотинных ГЭС и считаются более экологически чистыми. Однако их мощности может хватить для обеспечения электроэнергией лишь небольшого числа домохозяйств.

В случае, если русло не имеет достаточного уклона, используются плотины, которые искусственно создают перепад высот между участками реки. В остальном же технология выработки энергии неизменна.

3. Гидроаккумулирующие. Такие ГЭС используются не столько для выработки электроэнергии, сколько для её накопления и хранения. С помощью насосов и избыточной электроэнергии, вырабатываемой другими электростанциями, вода перекачивается из одного хранилища в другое, увеличивая перепад в их уровнях воды. Во время повышенного спроса на электроэнергию, когда мощности остальных электростанций не хватает, данная станция начинает работать как обычная ГЭС — вода из хранилища с большим запасом воды поступает в хранилище с меньшим, тем самым обеспечивая вращение турбины и выработку электроэнергии.

Средняя мировая стоимость электроэнергии, получаемой от ГЭС, имеет неоднозначную динамику: в период с 2014 по 2017 она увеличилась на 43 %, а в 2018 уменьшилась на 12 %, составив 0,048 USD/кВт·ч. Это явление связано с тем, что стоимость гидроэнергии сильно зависит от строительства полномасштабных и мини-ГЭС: с 2014 по 2017 росло количество менее эффективных мини-ГЭС, в то время как в 2018 был завершён ряд крупных проектов.

**Энергия океана** может использоваться для выработки электричества 4 различными способами [15]:

1. С помощью волн [16]. Конвертеры, представляющие из себя поплавки, соединённые штангой с генератором на берегу, преобразуют вертикальное движение волн во вращательное, благодаря чему вращается турбина генератора, в свою очередь преобразующая кинетическую энергию в электрическую.

2. С помощью приливов [17]. Приливные электростанции (ПЭС) во многом схожи с плотинными ГЭС: энергия вырабатывается за счёт водного потока, взаимодействующего с турбинами станции. Принципиальное отличие между ними заключается в том, что ПЭС размещаются в устье реки, впадающей в море, или в заливе, и напор воды обеспечивается за счёт приливов: дважды в сутки вследствие воздействия гравитационных сил Луны образуется перепад между уровнями воды с разных сторон дамбы, поток устремляется в одном из направлений через туннели в дамбе, где расположены турбины, и таким образом вырабатывается электроэнергия. Также ПЭС может быть оборудована насосами и работать как гидроаккумулирующая ГЭС, когда остальные электростанции вырабатывают избыточную энергию. Запасы потенциальной энергии воды позволяют получать электроэнергию в моменты повышенного спроса. Тем не менее у ПЭС есть серьёзный недостаток — значительные колебания количества получаемой энергии в течение суток.

3. С помощью энергии градиента солёности [18]. При данном способе энергия вырабатывается за счёт разницы уровней концентрации соли в двух жидкостях. Обычно для этого используются пресная вода из реки и солёная из моря, в которое она впадает. Существует две технологии, позволяющие извлечь электроэнергию из взаимодействия указанных жидкостей. Первый метод основан на явлении осмоса: пресная вода переходит через мембрану, не пропускающую соль, в отделение с морской водой, в котором концентрация соли значительно выше. В связи с тем, что соль не может преодолеть мембрану, выравнивание концентрации осуществляется путём увеличения объёма воды во втором отделении, вследствие чего в нём увеличивается давление, за счёт которого приводится в действие турбина и вырабатывается электроэнергия. Во втором способе используются чередующиеся мембраны, через которые осуществляется обмен катионов или анионов между солёной и пресной водой, пропущенной через отсеки между мембранами. Разница между химическими потенциалами жидкостей создаёт электрическую энергию.

4. За счёт энергии температурного градиента [19]. Данная технология использует разницу температур между тёплой водой на поверхности и холодной, находящейся на глубине 800-1000 метров: тёплая вода используется для создания пара, приводящего в движение турбины, а с помощью холодной осуществляется конденсация данного пара и обеспечивается разница давлений в отсеках до и после турбины.

Несмотря на обилие способов генерации электричества из энергии океана, ни один из них пока ещё не коммерциализирован, в связи с чем данный вид генерации не популярен и не имеет определённого уровня нормированной стоимости электроэнергии.

**Солнечная энергия** — это энергия, получаемая напрямую от Солнца [20]. Она может использоваться как в тепловом, так и в электрическом виде. Электроэнергию из солнечной энергии получают с помощью двух основных видов генераторов:

1. Фотоэлектрических или также известных как «солнечные батареи» [21]. Данные установки могут трансформировать солнечную энергию напрямую в электрическую с помощью явления внутреннего фотоэффекта. Солнечные батареи способны произвести революцию в энергетической индустрии: во время работы они не загрязняют окружающую среду; не потребляют воду в процессе генерации электричества; практически не имеют операционных издержек; могут быть быстро размещены на любой свободной площади. Однако у них есть и свои ограничения:



выработка энергии сильно зависит от климата региона, погоды и времени года; ночью производство электричества останавливается; мощные солнечные электростанции (СЭС) занимают значительную площадь, в связи с чем в странах с высокой стоимостью земли себестоимость генерации энергии подобными электростанциями значительно выше, чем в других. Данная технология стремительно развивается — каждый год показатель LCOE для него снижается, и в период с 2014 по 2018 годы он уменьшился практически в два раза, составив 0,085 USD/кВт·ч.

2. Установки концентрированной солнечной энергии [22]. В данных генераторах используется система зеркал, с помощью которых свет концентрируется на хранилище с жидкостью. Далее под воздействием тепла начинается процесс парообразования, с помощью которого приводятся в движение турбины и вырабатывается электроэнергия. У данной технологии есть как преимущества, так и недостатки: с одной стороны, данный метод позволяет вырабатывать электричество даже в плохую погоду или после заката, поскольку тепло может запасаться в тепловых аккумуляторах. С другой стороны, такой метод генерации энергии целесообразен лишь вблизи экватора. Более того, стоимость генерации электроэнергии такими установками на 2018 год оказалась значительно выше, чем фотоэлектрическими. Хотя с 2014 стоимость и упала на 25 %, её величина составила 0,186 USD/кВт·ч.

**Энергия ветра** — это энергия, которая является следствием солнечной активности. В прошлом энергия ветра использовалась в ветряных мельницах для помола муки, однако сейчас она может быть трансформирована в электрическую с помощью ветряных электростанций (ВЭС). Ветряные установки могут иметь горизонтальную ось вращения или вертикальную, быть расположены на суше или в море, однако базовый принцип производства энергии ВЭС довольно прост: ветер вращает лопасти ветряного генератора, которые передают вращательную энергию на ротор, с помощью которого вырабатывается электроэнергия.

Морская ветроэнергетика пока ещё находится на ранней стадии развития — стоимость генерации энергии морскими ВЭС значительно выше, чем наземными, и составляет 0,126 и 0,055 USD/кВт·ч соответственно. Это связано с тем, что стоимость строительства морских ветряных электростанций значительно выше, чем наземных, при том, что выработка энергии ими не намного больше. Однако развитие технологий в данной отрасли в будущем может позволить размещать установки дальше от берега, где скорость ветра значительно выше, что повысит эффективность их работы. ВЭС не лишены недостатка многих других ВИЭ — уровень вырабатываемой ими энергии нестабилен и сильно зависит от погодных условий. В связи с этим ВИЭ нередко используются вместе с традиционными источниками энергии, что по сути, сводит на нет их экологичность и увеличивает стоимость электроэнергии. Однако эта проблема может быть устранена с помощью хранилищ, которые способны запасать избыточную энергию и высвободить её во время нехватки. Более того: использование ВИЭ в паре с накопителями энергии приводит к снижению стоимости генерации электричества, поскольку они позволяют накопить энергию в тот момент, когда стоимость её генерации ниже [23].

## Хранение энергии

Существуют десятки различных технологий, позволяющих хранить энергию самыми разными способами [24]. Их можно распределить по 7 группам:

1. Гидроаккумуляторы. Данная технология была рассмотрена ранее — она применяется на ГЭС и ПЭС, в связи с чем её массовое применение затруднено.
2. Тепловые хранилища энергии также были рассмотрены ранее. Их массовое применение тоже затруднено — СЭС, применяющие тепловые хранилища энергии, целесообразны лишь в странах с высоким уровнем солнечного излучения.

3. Хранение энергии с помощью сжатого воздуха. В качестве хранилищ по данной технологии используются подземные резервуары, в которые с помощью насосов закачивается воздух под большим давлением. При необходимости извлечения энергии из хранилища воздух подаётся в газовую турбину и приводит её в движение, позволяя генератору производить электроэнергию.

4. Маховики. Маховики способны запасать избыточную электроэнергию в виде механической, которая позднее, во время нехватки, может быть вновь превращена в электрическую.

5. Суперконденсаторы. Данные хранилища запасают энергию в виде электростатической.

6. Сверхпроводящие магнитные накопители. Данные хранилища запасают энергию в магнитном поле, создаваемом током, проходящем через охлаждённую до сверхпроводящей критической температуры катушку.

7. Электрические батареи и ванадиевые потоковые аккумуляторы. Существует множество технологий запасания энергии за счёт использования различных материалов, однако они все основаны на одном принципе — запасании электрической энергии в виде химической. На сегодняшний момент является одним из самых перспективных направлений в развитии хранилищ энергии за счёт своей универсальности и большого потенциала различных технологий.

## Передача энергии

Немаловажную роль в возобновляемой энергетике играют умные сети, поскольку обычные электросети не выдерживают требований устойчивого развития: экономический рост и неравномерное пространственное распределение генераторов энергии может приводить к локальным перегрузкам и отключениям [25]. При этом такие сети поддерживают лишь одностороннее взаимодействие производителей и потребителей энергии, что ограничивает потенциал генераторов, установленных потребителем и способных обеспечивать энергией не только их владельца, но и поставлять избыток в сеть.

Умные сети способны решить эти проблемы. Хотя они пока ещё не имеют общепризнанного определения, можно выделить их основные отличительные черты [26].

1. Возможность размещения в сети множества генераторов на любом участке, в то время как традиционная сеть не может поддерживать множество точек входа энергии. Данная особенность является крайне важной для применения ВИЭ, поскольку генераторы могут быть рассеяны по большой территории и вырабатывать разный объём энергии в разное время.

2. Гибкость. Умные сети обеспечивают двустороннее взаимодействие производителей и потребителей энергии, благодаря чему солнечные батареи или ветряки, установленные потребителем, могут поставлять избыток в сеть. Также с их помощью можно в реальном времени отслеживать и регулировать выработку энергии различными генераторами или управлять спросом, чтобы избежать резких всплесков или провалов в уровне потребления.

3. Эффективность. Помимо указанного выше управления спросом и предложением для оптимизации затрат, умные сети обладают улучшенной инфраструктурой, снижающей потери энергии.

4. Двустороннее взаимодействие в сети создаёт основу для множества новых или улучшения существующих продуктов и услуг и способно изменить рыночную структуру.

5. Надёжность. С помощью умных счётчиков сеть сама может определить неисправность и произвести самовосстановление (например, с помощью изоляции проблемного участка) без вмешательства человека, благодаря чему снижается риск массового отключения энергии.

6. Умные сети способны улучшить взаимодействие различных видов генераторов за счёт отслеживания всех показателей в реальном времени. Благодаря этому на энергию от генераторов, выработка электричества которыми не может управляться, могут действовать разные тарифы, при повышенном спросе может быть изменён уровень выработки энергии другими генераторами или будут запущены новые.

## Динамика развития ВИЭ

За период с 2010 по 2019 годы установленная мощность возобновляемых источников энергии во всём мире возросла на 107,4 % — с 1223,3 до 2536,9 ГВт [27]. Ещё внушительнее выглядит прирост по отношению к 2000 году, на конец которого суммарная установленная мощность ВИЭ составляла лишь 753,3 ГВт — 236,6 %.

Прирост установленной мощности ВИЭ впервые превысил аналогичный показатель традиционной энергии в 2012 году, составив более 50 % от объёма вновь установленной мощности. В последующие годы, за редким исключением, ВИЭ лишь увеличивали свою долю среди новых электростанций, и за 2019 год данный показатель превысил 70 %. Благодаря этому доля ВИЭ в общей установленной мощности энергетики составила 34,7 %.

Более половины всей установленной мощности, а именно 51,7 %, приходится на гидроэнергию, однако эта отрасль возобновляемой энергетики развивается значительно медленнее остальных — в период с 2010 по 2019 годы прирост мощности составил лишь 28,6 %, с 925,1 до 1189,4 ГВт, в то время как у солнечной энергии, лидера по скорости развития — 1311,7 %, с 41,5 до 586,4 ГВт.

Успех солнечной энергетики обеспечивается стремительным техническим прогрессом в области фотоэлектрических генераторов: благодаря снижению стоимости генерации ими энергии, установленная мощность солнечных батарей увеличилась более чем в 14 раз с 40,3 до 580,1 ГВт. Благодаря этому солнечная энергия стала одним из важнейших источников возобновляемой энергии, заняв третью после гидроэнергии и энергии ветра позицию в рейтинге ВИЭ по установленной мощности.

Быстро развивалась также и упомянутая ранее ветряная энергетика — её прирост за период с 2010 по 2019 составил 244,3 % — со 180,8 до 622,7 ГВт. Наиболее весомый вклад в рост популярности энергии ветра внесли наземные электростанции — их мощность выросла на 416,6 ГВт, или 234,3 %, однако расположенные на море ветряные станции развиваются значительно быстрее — с 3 до 28 ГВт, или на 826,4 %. Солнечная и ветряная энергетика составили 90 % от всей вновь установленной за 2019 год мощности ВИЭ, что обусловлено их универсальностью — СЭС и ВЭС могут быть размещены практически везде, где есть ветер и светит солнце, а технический прогресс и развитие промышленности делает их всё более эффективными. Остальные ВИЭ, хоть их установленная мощность и возросла многократно за 2010-2019 годы, имеют не столь значительную долю в суммарной мощности возобновляемой энергетики — лишь 5,5 %, или 138,3 ГВт. Из них 123,8 ГВт составляет биоэнергия, используемая в основном для энергоснабжения потребителей, не подключённых к центральной энергосети, 13,9 ГВт — геотермальная энергия, которая может быть использована лишь в особых местах, и 0,5 ГВт — энергия океана, которая до сих пор не коммерциализирована.

## Заключение

По мнению авторов, важнейшую роль в технологическом обосновании внедрения возобновляемых источников энергии в Арктике, а особенно реализации проектов по развитию альтернативной энергетики в АЗРФ, должны играть действующие в российской Арктике научно-образовательные центры (НОЦ) [28]. НОЦ уже созданы и действуют в трёх регионах АЗРФ.

Важно также и то, что недавно распоряжением Правительства от 6 октября 2021 г. № 2816-р, был утверждён перечень социально-экономических инициатив развития до 2030 года. В нём самым объёмным стал блок «Технологический рывок». Он содержит 15 стратегических инициатив для разных сфер, включая чистую энергетику, электрический и автономный транспорт, аграрный сектор. Их реализация должна ускорить обновление важнейших отраслей экономики, помочь с привлечением крупных инвесторов [29]:

1. чистая энергетика (водород и ВИЭ);
2. новая атомная энергетика, в том числе малые атомные реакторы для удалённых территорий;
3. электромобиль и водородный автомобиль;
4. платформа университетского технологического предпринимательства.

Кроме того, в рамках блока «Экология» реализуется инициатива: «Политика низкоуглеродного развития».

Участие в этих инициативах регионов и компаний позволит очень быстро и успешно реализовать проекты развития АЭ в АЗРФ. На реализацию всех инициатив социально-экономического развития выделено около 5 трлн рублей.

Наиболее перспективными и универсальными ВИЭ для АЗРФ являются солнечная и ветровая энергия. Гидроэнергия постепенно теряет свою популярность, и даже в абсолютном выражении прирост её мощности уступает быстро развивающимся ВИЭ, однако её доля в выработке энергии всё ещё значительна, а потенциал не исчерпан.

### Литература:

1. Воротников А.М., Ипатова Н.С., Тарасов Б.А. Новый инструмент финансирования создания и развития экотехнопарков – зелёные облигации // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Том 9. № 1А. С. 299-307.
2. Никоноров С.М. От стратегии социально-экономического развития к стратегии устойчивого развития регионов России // Менеджмент и бизнес-администрирование, 2016, № 4, с. 28-35.
3. Никоноров С.М. «Зелёная» экономика, «зелёные» финансы, индекс устойчивого развития регионов (городов) России // Сборник: Экология и экономика: тренды, проблемы, решения. Материалы Международной научно-практической конференции, 2017, с. 50-56.

### Literature:

1. Vorotnikov A.M., Ipatova N.S., Tarasov B.A. A new instrument for financing the creation and development of eco-technology parks – green bonds // Economy: yesterday, today, tomorrow. 2019. Vol. 9. No. 1A. S. 299-307.
2. Nikonorov S.M. From the strategy of socio-economic development to the strategy of sustainable development of the regions of Russia // Management and business administration, 2016, No. 4, p. 28-35.
3. Nikonorov S.M. «Green» economy, «green» finance, index of sustainable development of regions (cities) of Russia // Collection: Ecology and economics: trends, problems, solutions. Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2017, p. 50-56.

4. Никоноров С.М. Подходы к разработке стратегий развития Арктических регионов России // Сборник: Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник, Москва, 2020, с. 119-123.
5. Никоноров С., Папенков К., Сергеев Д. Опыт Китая по внедрению возобновляемых источников энергии как возможный сценарий для Красноярского края // Экономический журнал БРИКС, том 1, № 2, с. 59-79.
6. Устав Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) [Электронный ресурс] // URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/About-IRENA/Statute/IRENA\\_FC\\_Statute\\_signed\\_in\\_Bonn\\_26\\_01\\_2009\\_incl\\_declaration\\_on\\_further\\_authentic\\_versions.ashx?la=en&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/About-IRENA/Statute/IRENA_FC_Statute_signed_in_Bonn_26_01_2009_incl_declaration_on_further_authentic_versions.ashx?la=en&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96) (дата обращения: 03.04.2020).
7. IRENA. Биоэнергетика [Электронный ресурс] // URL: <https://www.irena.org/bioenergy> (дата обращения: 20.04.2020).
8. IRENA (2019). Затраты на производство возобновляемой энергии в 2018 году, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
9. IRENA (2017), Геотермальная энергия: краткий обзор технологий, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
10. National Geographic. Геотермальная энергия [Электронный ресурс] // URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-energy/> (дата обращения: 21.04.2020)
11. Управление энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. Производство геотермальной электроэнергии [Электронный ресурс] // URL: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation> (дата обращения: 21.04.2020).
12. IRENA. Гидроэнергетика [Электронный ресурс] // URL: <https://www.irena.org/hydropower> (дата обращения: 20.04.2020)
13. Управление энергоэффективности и возобновляемых источников энергии. Производство электроэнергии гидроэнергетикой [Электронный ресурс] // URL: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation> (дата обращения: 21.04.2020).
14. National Geographic. Возобновляемая энергия [Электронный ресурс] // URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-energy/> (дата обращения: 21.04.2020).
15. IRENA. Энергия океана [Электронный ресурс] // URL: <https://www.irena.org/ocean> (дата обращения: 20.04.2020).
16. IRENA (2014), Краткий обзор технологий волновой энергии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
17. IRENA (2014), Краткий обзор технологий приливной энергии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
18. IRENA (2014), Краткий обзор технологии энергии градиента солёности, Международное
4. Nikonorov S.M. Approaches to the development of strategies for the development of the Arctic regions of Russia // Collection: Russia: trends and development prospects. Yearbook, Moscow, 2020, p. 119-123.
5. Nikonorov S., Papenov K., Sergeev D. Chinese experience in implementing renewable energy sources as a possible scenario for the Krasnoyarsk territory // BRICS Journal of Economics, том 1, № 2, с. 59-79.
6. Statute of International Renewable Energy Agency [Electronic resource] // URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/About-IRENA/Statute/IRENA\\_FC\\_Statute\\_signed\\_in\\_Bonn\\_26\\_01\\_2009\\_incl\\_declaration\\_on\\_further\\_authentic\\_versions.ashx?la=en&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/About-IRENA/Statute/IRENA_FC_Statute_signed_in_Bonn_26_01_2009_incl_declaration_on_further_authentic_versions.ashx?la=en&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96&hash=FAB3B5AE51B8082B04A7BBB5BDE978065EF67D96) (date of application: 03.04.2020).
7. IRENA. Bioenergy [Electronic resource] // URL: <https://www.irena.org/bioenergy> (date of application: 20.04.2020).
8. IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
9. IRENA (2017), Geothermal Power: Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
10. National Geographic. Geothermal Energy [Electronic resource] // URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-energy/> (date of application: 21.04.2020).
11. Office of energy efficiency & renewable energy. Geothermal electricity generation [Electronic resource] // URL: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation> (date of application: 21.04.2020).
12. IRENA. Hydropower [Electronic resource] // URL: <https://www.irena.org/hydropower> (date of application: 20.04.2020)
13. Office of energy efficiency & renewable energy. Hydropower electricity generation [Electronic resource] // URL: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation> (date of application: 21.04.2020).
14. National Geographic. Renewable energy [Electronic resource] // URL: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/geothermal-energy/> (date of application: 21.04.2020).
15. IRENA. Ocean energy [Electronic resource] // URL: <https://www.irena.org/ocean> (date of application: 20.04.2020).
16. IRENA (2014), Wave Energy Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.
17. IRENA (2014), Tidal Energy Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.
18. IRENA (2014), Salinity Energy Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.
19. IRENA (2014), Ocean Thermal Energy Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.

- агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
19. IRENA (2014), Краткий обзор технологий океанической тепловой энергии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
20. IRENA. Солнечная энергия [Электронный ресурс] // URL: <https://www.irena.org/solar> (дата обращения: 20.04.2020).
21. IRENA (2016), «Впускание света: как солнечные фотоэлектрические панели произведут революцию в электроэнергетической системе», Абу-Даби.
22. IRENA (2013), Краткий обзор технологий солнечной энергии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
23. IRENA (2016), Краткий обзор ветроэнергетических технологий, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Абу-Даби.
24. Deloitte Insights. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии Солнечно-ветровая энергия: больше чем мейн-стрим. [Электронный ресурс]. Электр. дан. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Doc>. (дата обращения: 08.04.2020).
25. IRENA (2012), Краткий обзор технологий хранения электроэнергии, Международное агентство по возобновляемым источникам энергии, Бонн.
26. MDPI. Устойчивость в электроэнергетическом секторе за счёт передовых технологий: переход на энергоносители и технологии интеллектуальных сетей в Китае [Электронный ресурс]. Электр. дан. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1142/htm> (дата обращения: 08.04.2020).
27. Яо Чжан, Вэй Чен, Вэйцзюнь Гао. Обзор состояния развития и проблем интеллектуальных сетей в странах, являющихся основными драйверами. // *Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики*. 2017, Том 79. С. 137-147.
28. Международное агентство по возобновляемой энергии. Дорожная карта возобновляемых источников энергии. Перспективы возобновляемой энергетики: Китай. [Электронный ресурс]. Электр. дан. URL: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publ>. (дата обращения: 08.04.2020).
29. Подопросветова Н.И., Воротников А.М. Создание научно-образовательных центров (НОЦ) для повышения инновационного потенциала в Арктической зоне РФ // *Россия: тенденции и перспективы развития*. 2021. №16-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-nauchno-obrazovatelnyh-tsentrov-nots-dlya-povysheniya-innovatsionnogo-potentsiala-v-arkticheskoy-zone-rf> (дата обращения: 12.10.2021).
30. Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2021 г. № 2816-р Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития РФ до 2030 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402792803/> (дата обращения: 12.10.2021).
20. IRENA. Solar energy [Electronic resource] // URL: <https://www.irena.org/solar> (date of application: 20.04.2020)
21. IRENA (2016), 'Letting in the Light: How solar PV will revolutionise the electricity system,' Abu Dhabi.
22. IRENA (2013), Concentrating Solar Power Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.
23. IRENA (2016), Wind Power Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
24. Deloitte Insights. International Renewable Energy Trends Solar and Wind Energy: More than Mainstream. [Electronic resource]. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Doc>. (date of application: 08.04.2020).
25. IRENA (2012), Electricity Storage Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Bonn.
26. MDPI. Sustainability in the Electricity Sector through Advanced Technologies: Energy Mix Transition and Smart Grid Technology in China [Electronic resource]. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1142/htm> (date of application: 08.04.2020).
27. Yao Zhang, Wei Chen, Weijun Gao. A survey on the development status and challenges of smart grids in main driver countries. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, Volume 79. Pages 137-147.
28. International Renewable Energy Agency. A Renewable Energy Roadmap. Renewable energy prospects: China. [Electronic resource]. URL: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publ>. (date of application: 08.04.2020).
29. Podoprosvetova N.I., Vorotnikov A.M. Creation of scientific and educational centers (REC) to increase the innovative potential in the Arctic zone of the Russian Federation // *Russia: trends and prospects of development*. 2021. No.16-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-nauchno-obrazovatelnyh-tsentrov-nots-dlya-povysheniya-innovatsionnogo-potentsiala-v-arkticheskoy-zone-rf> (date of application: 12.10.2021).
30. Decree of the Government of the Russian Federation dated October 6, 2021 No. 2816-r On Approval of the List of initiatives of Socio-economic development of the Russian Federation until 2030 URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402792803/> (date of application: 12.10.2021).